

UNIVERSITÉ DE PARIS

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

Année 1911 - 1912

N° 3

L'EAU POTABLE

DANS LA VILLE DE SENS

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de docteur de l'Université de Paris
(PHARMACIE)

Présentée et soutenue le

1912

PAR

Louis BAILLY-SALIN

PHARMACIEN DE 1^{re} CLASSE

ÉLÈVE DE L'INSTITUT PASTEUR

CHIMISTE-EXPERT PRÈS LE TRIBUNAL CIVIL

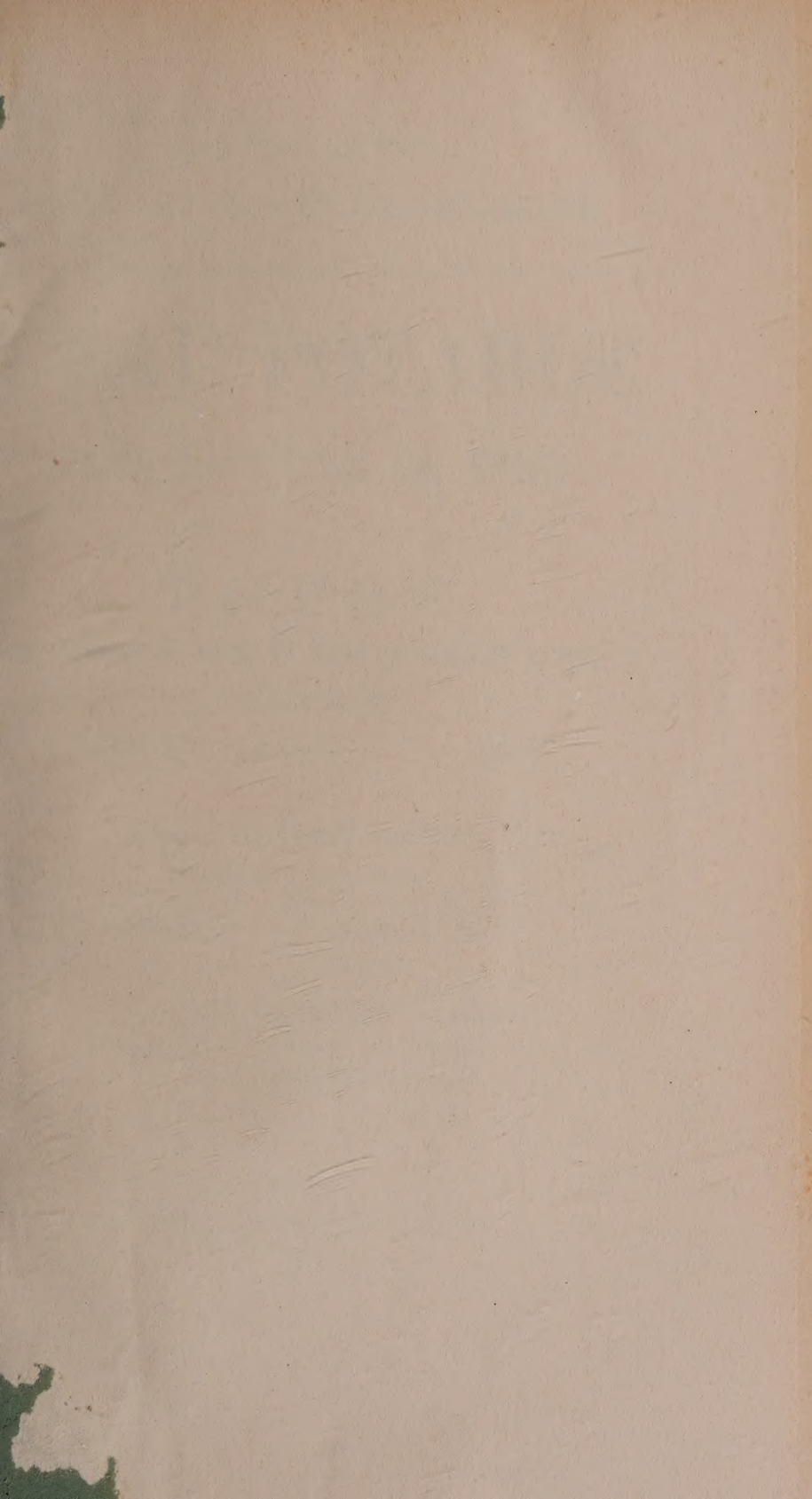
Jury : { MM. GRIMBERT, *président.*
LEBEAU, *professeur.*
TASSILLY, *agrégé.*

SENS

DUCHEMIN, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

1912





PERSONNEL DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

ADMINISTRATION

MM. GAUTIER, Directeur, *, ☉ I.
BOUCHARDAT, Assesseur, O. *, ☉ I.
E. MUSSON, Secrétaire, *, ☉ I.

PROFESSEURS

MM. BOUCHARDAT, O. *, ☉ I. Hydrologie et minéralogie.
GUIGNARD, Membre de
l'Institut, O. *, ☉ I. . . . Botanique générale.
VILLIERS, *, ☉ I. . . . Chimie analytique.
BOURQUELOT, *, ☉ I. . Pharmacie galénique.
GAUTIER, *, ☉ I. . . . Chimie minérale.
RADAIS, *, ☉ I. . . . Cryptogamie.
BÉHAL, O. *, ☉ I. . . . Chimie organique.
PERROT, *, ☉ I. . . . Matière médicale.
COUTIÈRE, ☉ I. . . . Zoologie.
BERTHELOT, ☉ I. . . . Physique.
GRIMBERT, ☉ I. . . . Chimie biologique.
MOUREU, Membre de l'Ins-
titut, *, ☉ I. . . . Pharmacie chimique.
LEBEAU, ☉ I. . . . Toxicologie.

Directeur honoraire : M. GUIGNARD, O. *, ☉ I.

Professeur honoraire : M. JUNGFLEISCH, O. *, ☉ I.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. GUERBET, ☉ I.
DELÉPINE, ☉ I.
VALEUR, ☉ A.
BOUGAULT, ☉ A.
TASSILLY, ☉ I.

MM. GUÉRIN, ☉ I.
GUÉGUEN, ☉ I.
LUTZ, ☉ I.
HÉRISSEY, ☉ I.

CHEFS DES TRAVAUX PRATIQUES

MM. DEFACQZ, ☉ I. . . . Chimie générale.
COUSIN, ☉ I. . . . Chimie analytique.
SOUÈGES, ☉ A. . . . Micrographie.
MOURLOT, ☉ I. . . . Physique.
BARTHELAT, ☉ I. . . . Microbiologie.

Chef du Laboratoire des examens pratiques : M. JAVILLIER, ☉ A.

Bibliothécaire en chef : M. DORVEAUX, ☉ I.

A LA MÉMOIRE DE MA MÈRE

A MON PÈRE

MEIS ET AMICIS

A MONSIEUR LE PROFESSEUR

L. GRIMBERT

PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

PHARMACIEN EN CHEF DES HOPITAUX

DIRECTEUR DE LA PHARMACIE CENTRALE DES HOPITAUX

ET HOSPICES CIVILS DE PARIS

L'EAU POTABLE

DANS LA VILLE DE SENS

INTRODUCTION

L'homme à toutes les époques s'est fixé de préférence aux endroits où il était sûr de trouver de l'eau propre aux usages domestiques ou industriels, mais il se préoccupait surtout des caractères organoleptiques de l'eau et de son usage économique. L'importance hygiénique de l'eau potable n'a été établie sur des bases positives que depuis les récentes découvertes bactériologiques. A vrai dire, il y a soixante ans à peine, nous n'étions guère plus avancés à ce sujet que du temps d'Hippocrate et des Romains. La définition d'une eau potable parue dans l'*Annuaire des Eaux de France de 1851*, était ainsi conçue : « Une eau peut être considérée comme
« bonne et potable, quand elle est fraîche, limpide, sans
« odeur, quand sa saveur est très faible, qu'elle n'est sur-
« tout ni désagréable, ni fade, ni salée, ni douceâtre; quand
« elle contient peu de matières étrangères; quand elle ren-
« ferme suffisamment d'air en dissolution; quand elle cuit
« bien les légumes et qu'elle dissout le savon sans former de
« grumeaux. »

Suivant Hippocrate, les meilleures eaux à boire sont les

eaux limpides, légères, exemptes de saveur et d'odeur. Il regarde comme très mauvaises, les eaux dures, salées, alumineuses, les eaux des lacs et des marais.

Mais à mesure que les découvertes se précisaient, que les méthodes d'analyses étaient perfectionnées progressivement au point de vue chimique d'abord, puis au point de vue bactériologique, on arriva à suspecter l'eau comme agent de transport de presque toutes les maladies infectieuses; toutefois l'étiologie de la transmission par l'eau n'est bien établie actuellement que pour le choléra, la fièvre typhoïde et la dysenterie.

Comme conséquence, la nécessité d'alimenter les agglomérations urbaines ou rurales en eau parfaitement pure n'est plus à soutenir aujourd'hui. Partout où les travaux nouveaux ont permis de distribuer de l'eau non suspecte, la mortalité par fièvre typhoïde s'est abaissée dans les proportions considérables.

En même temps que ces notions nouvelles se répandaient, les hygiénistes étaient conduits à modifier leur méthode d'appréciation des qualités de l'eau potable (1). « A qualités hygiéniques égales, une eau impressionnant agréablement les papilles gustatives sera préférable à une eau insipide ou de goût plus ou moins désagréable ; mais lorsqu'il s'agira d'eaux dont la contamination est possible, cette sapidité devient une qualité secondaire qui ne doit plus entrer en ligne de compte au point de vue de l'hygiène. »

Mais alors s'est posée la question : « L'analyse bactériologique est-elle suffisante pour constater la bonne qualité de l'eau et doit-on en juger d'après le nombre absolu de germes qu'elle renferme? » On sembla vouloir conclure d'abord dans ce sens puis on dut constater que le nombre de germes contenus dans une eau n'a pas une valeur pronostique décisive :

(1) G. POUCHET, *Annales d'hygiène publique et médecine légale*, Avril 1891.

c'est la qualité, c'est-à-dire la nature des microbes renfermés dans une eau potable qui fait tout le danger, et les eaux les plus pures en germes et en matières organiques peuvent recéler, à l'état virulent, pendant un certain temps, un microbe qui disparaît au contraire assez vite dans les eaux plus riches en germes, par une sorte de concurrence vitale.

Ensuite, on doit avoir recours, en plus de l'analyse microbiologique, à l'analyse chimique qui permet d'apprécier d'une façon précise les avantages ou les inconvénients économiques d'une eau destinée à l'alimentation domestique et industrielle, et de plus qui trouve dans le dosage des matières organiques, de l'ammoniaque, du chlore, etc., des éléments d'information des plus importants sur la souillure possible de l'eau et des dangers que peut présenter son utilisation au point de vue de l'hygiène.

L'analyse chimique doit donc, dans tous les cas, compléter l'analyse bactériologique : les deux épreuves ne valent que par leur association.

Les eaux potables possèdent des origines diverses qu'on peut néanmoins rapporter à quelques types principaux : eaux de source, eaux de rivières, eaux de puits, eaux de pluie recueillies dans des citernes. Parmi les agglomérations, les unes sont alimentées en eau de source exclusivement, d'autres en eau de source et de rivière à la fois. Outre l'eau municipale provenant soit d'eau de source, soit d'eau de rivière, beaucoup d'habitants tirent leur eau de puits particuliers ou publics, et cette eau plus économique et plus à leur portée est généralement préférée l'été, parce qu'elle est plus fraîche.

Evidemment la question de l'eau potable dans la ville de Sens ne peut avoir la même importance que dans les grandes villes où les habitants n'ont l'eau ni à leur portée ni en grande abondance; mais pour n'être pas aussi primordiale, cette question n'en est pas moins intéressante, surtout si l'on considère qu'il y a déjà eu à Sens plusieurs épidémies

de fièvre typhoïde, dont les causes, bien caractérisées, méritent d'être citées.

Les renseignements recueillis sur l'état sanitaire de la ville de Sens ne remontent pas au-delà de 1859 (1). C'est par petites épidémies que la fièvre typhoïde a procédé. Les automnes de 1859, 1860, 1861, 1863, 1865, 1874, les printemps de 1862, 1867, 1871 ont vu le développement de ces épidémies. Celle de 1871 toutefois a présenté une gravité exceptionnelle : plus de quatre-vingts malades et une quinzaine de morts.

En trente années, de 1838 à 1868, deux grandes épidémies de fièvre typhoïde ont sévi dans le département de l'Yonne et l'une d'elles a effleuré à peine la ville de Sens; Sens est une de ces cités privilégiées où les épidémies typhiques sont très rares et où se produisent, de temps en temps, quelques cas sporadiques semant une légère contagion autour d'eux.

Cette difficulté de contagion qui provenait peut-être de la propreté de la ville où les courants d'eau lavent constamment les rues, était due aussi certainement à ce que les habitants ne consommaient que des eaux de puits soit communaux soit particuliers et n'avaient pas d'eau de source à leur disposition.

La proportion de 7,53 pour 10 000 à l'époque du docteur Vigenaud est tombée, d'après le docteur Moreau (2), à 2,75 de 1897 à 1901, tandis que Paris à la même époque se maintenait encore au taux de 3,11.

Cette chute de la mortalité tient à la distribution dans la ville de l'eau de la dérivation de la Vanne. Suivant les renseignements donnés dans la thèse écrite en 1902, par le docteur Bailly-Salin sur l'état sanitaire de la ville de Sens, cette absence de fièvre typhoïde fut graduelle, parce que les con-

(1) D^r VIGENAUD, *Sens, climatologie, démographie et géographie médicales*, 1878.

(2) Médecin en chef des hospices de Sens, médecin des épidémies de la ville de Sens.

cessions d'eau furent peu nombreuses et que l'habitude de se servir aux puits persista. C'est donc au milieu d'une tranquillité relative que brusquement éclata l'épidémie de 1894, mais, cette fois-ci, dans les quartiers alimentés par l'eau de la Vanne : quarante-cinq cas furent signalés en peu de temps, de février en avril, puis tout retomba dans le calme. D'après le docteur Moreau : « Les divers quartiers de la ville, aussi bien dans le centre que dans les faubourgs, ont été frappés dès le début, mais le quartier de Saint-Paul est resté absolument indemne parce qu'il ne recevait pas de canalisation d'eau de la Vanne. »

Une autre preuve que l'eau de la Vanne fut la cause de l'épidémie est donnée par l'épidémie qui se déclara à Paris, à la même époque, dans les quartiers alimentés d'eau de la Vanne.

De 1895 à 1899, le nombre des décès rentrait dans la normale, justifiant ainsi l'excellente qualité habituelle de l'eau de source. Survint l'épidémie de 1899 qui fit quatorze victimes sur quatre-vingt-dix cas et comme en 1895, les quartiers non alimentés par l'eau de la Vanne furent indemnes. Paris enregistra à la même époque une épidémie due à la même cause, la mauvaise qualité de l'eau de la Vanne et plus spécialement d'une de ses sources.

Les travaux de MM. Thoinot, Moreau et Virally ont démontré que c'est à la contamination spécifique de l'eau du drain de Flacy qu'on a pu rapporter l'épidémie parisienne et sénonaise de 1894.

Ils découvraient ensuite le foyer de Villechétive, pays situé à 12 kilomètres de Theil, en amont et à une altitude plus élevée ; ce foyer typhoïdique contamina à distance la source du Miroir de Theil.

En 1894, c'est un orage qui lave les terrains et jette les microbes d'un seul coup dans le drain de Flacy. En 1899, c'est l'infiltration lente et continue des microbes dans les terrains

après une succession de quatre jours de pluie avec 0,114 millimètres d'eau.

C'est donc avec raison que M. Thoinot a pu écrire que si l'épidémie de 1894 avait posé la question des contaminations superficielles de l'eau de la Vanne, celle de 1899 a posé celle des souillures profondes et à grande distance.

Après avoir exposé les ravages de ces épidémies, il faut reconnaître que la question de l'eau potable se pose avec une grande netteté et qu'il est très intéressant pour les consommateurs d'être renseignés sur la valeur des eaux qu'ils sont susceptibles d'employer pour leur usage personnel et domestique.

Nous commencerons cette étude par l'exposé rétrospectif de l'alimentation en eau potable depuis les origines de la ville. L'étude géologique des divers terrains qui constituent la vallée de Sens nous retiendra ensuite. Puis viendra la description et l'origine de l'eau de source actuelle.

L'étude de l'eau des puits occupera la suite de ce travail. Après l'exposé des recherches préliminaires, de la résistivité électrique et de la fluorescence, nous aborderons l'analyse chimique puis l'analyse bactériologique.

Nous discuterons enfin les résultats et concluerons sur l'ensemble de nos travaux.

Avant d'entrer dans l'exposé de notre sujet, c'est une tâche agréable que nous remplissons en remerciant M. le Professeur Grimbert du bienveillant intérêt qu'il a bien voulu nous accorder et des précieux conseils qu'il nous a donnés au cours de notre travail.

Que M. Diénert, chef du service de surveillance des eaux d'alimentation de la ville de Paris, veuille bien recevoir l'assurance de notre profonde gratitude pour avoir mis le laboratoire de Sens à notre disposition et de nous avoir accepté comme modeste collaborateur dans les premières études sur la fluorescence naturelle des eaux,

MM. Marec et Pellozio ont droit à tous nos remerciements pour avoir mis leur grande expérience à notre disposition, au cours des opérations effectuées dans leur laboratoire.

Que M. le docteur Moreau veuille bien recevoir l'assurance de toute notre respectueuse gratitude pour ses précieux renseignements sur le service des eaux de Sens.

CHAPITRE I^{er}

L'EAU POTABLE DANS LA VILLE

A TRAVERS LES SIÈCLES

Aqueduc romain

Avant la conquête romaine, les Gaulois qui habitaient presque toujours le bord des cours d'eau se contentaient d'y puiser pour leur besoin. Quand les Romains eurent installé à Sens le siège de la IV^e Lyonnaise, la population était considérable à cette époque, et, après avoir construit leurs temples et leurs monuments publics, ils songèrent à amener l'eau potable nécessaire à leurs fontaines et à leurs bains. Sans que l'on puisse avec certitude indiquer sous quel règne l'aqueduc fut construit, on a pu démontrer que seuls les règnes de Trajan, d'Auguste ou de Claude avaient pu voir sa reconstruction.

Quand entre 292 et 306, sous le règne de Constance Chlore, les barbares envahirent la Gaule, les remparts dont il subsiste encore de beaux restes furent construits et entourés de fossés et c'est alors que, sacrifiant une partie de son territoire, trop vaste pour recevoir une enceinte de murailles, Sens construisit avec les pierres de ses splendides monuments, de ses temples et même de ses tombeaux, des courtines et des tours et qui formèrent au cœur de la cité une forteresse inexpugnable.

L'aqueduc fut respecté pendant ces travaux et il pénétrait dans l'enceinte par la porte Formau, dont l'étymologie donne le véritable nom de porte d'eau.

Au sujet de la date exacte à laquelle cet aqueduc n'amenait plus d'eau, pour une cause ou pour une autre, on ne peut rien préjuger, mais comme approximativement le ru de Mondereau, qui arrose encore les faubourgs de la ville, fut creusé entre le XII^e et le XIII^e siècle, il est permis de supposer que le ru de Mondereau ne fut creusé que pour amener l'eau de l'aqueduc à sec ou démolí qui ne fournissait plus et c'est à ce temps-là, à peu près, qu'il faut fixer la date à laquelle l'aqueduc fut rompu.

L'aqueduc de Sens dérivait au moins trois sources (1) : Noé, le Miroir et Saint-Philbert ; on n'en saurait douter après les recherches de M. Julliot, de Sens. Il est même très probable qu'il en prenait une quatrième, la source de Vareilles, qui jaillit dans une vallée secondaire à 2500 mètres de Saint-Philbert. On trouve les ruines d'un branchement d'aqueduc dans le vallon de la Faucauderie qui se relie à la vallée de la Vanne à Málay-le-Vicomte. Aujourd'hui il ne coule dans ce vallon ni ruisseau, ni source. La présence de l'aqueduc fait présumer qu'il y existait autrefois un écoulement d'eau perenne quelconque, mais dont il ne peut être question ici puisqu'il n'en reste aucune trace.

Les quatre sources que je viens de citer sortent toutes de la craie à silex. Par année très sèche, le jaugeage des sources a permis d'évaluer la quantité de litres par seconde débitée par ces sources et il fut trouvé par année sèche comme en 1874 :

Vareilles.	37 litres par seconde
Saint-Philbert	88 —
Miroir.	82 —
Noé.	38 —

Au total , , , , 245 litres par seconde

(1) *L'Aqueduc romain de Sens*, JULLIOT et BELGRAND, Dunod, Paris 1875, page 32,

Par année moyenne comme en 1869, on constata :

Vareilles	90 litres par seconde
Saint-Philbert	102 —
Miroir	109 —
Noé.	49 —

Au total 350 litres par seconde

Enfin par année humide comme en 1867, le débit atteignit :

Vareilles	100 litres par seconde
Saint-Philbert	122 —
Miroir	170 —
Noé.	81 —

Au total 475 litres par seconde

Débits totaux par vingt-quatre heures :

Année humide	41 800 mètres cubes
Année moyenne	31 000 —
Année sèche.	21 200 —

L'aqueduc de Sens portait donc au temps des Romains un très grand volume d'eau. Même au temps des très basses eaux, son débit était égal à celui des plus grands aqueducs de la Rome moderne, de la Félice. En était-il encore ainsi au moyen-âge ? Le travail de M. Julliot nous laisse dans une grande incertitude ; les anciennes traditions et les légendes ne parlent qu'en termes vagues du débit des fontaines de la ville, cela se conçoit : un des textes cités par M. Julliot, dit que la fontaine de la Pierre-au-Lait jetait gros comme le corps d'un homme et ne pouvait rien dire de plus précis. Mais ce qui paraît singulier, c'est que le point de départ de cette eau ne soit pas indiqué plus nettement, que les uns le fixaient à Vareilles, d'autres à Saint-Philbert : c'était pourtant un fait facile à vérifier même dans les temps anciens.

A l'époque gallo-romaine, la ville de Paris ne possédait que l'aqueduc d'Arcueil dont la portée en temps ordinaire ne dépassait pas 1000 mètres cubes et tombait à 300 mètres

cubes par vingt-quatre heures. Dans une année très sèche, comme en 1874, Sens aurait reçu soixante-dix fois plus d'eau que Paris.

Les quatre sources proviennent de nappes profondes et arrivent au jour par de véritables cheminées de puits artésiens forées dans la craie compacte. Ces cheminées sont remplies de cailloux à Saint-Philbert, à Theil et à Noé, et de limon à Vareilles.

Ces sources sont donc sans relation avec la nappe d'eau superficielle des puits. On peut pratiquer des tranchées à une très petite distance de leur point d'émission sans les déplacer et les relever d'une certaine quantité sans trop craindre de les perdre. C'est ce qu'on fait les Romains à Noé et à Saint-Philbert.

Originellement à Noé, la source jaillissait certainement au pied du coteau, à l'altitude $85^m 20$ et le niveau de l'eau dans le bassin de captation était à $89^m 46$, soit un relèvement de $4^m 26$. Quand la ville de Paris a acheté cette source, elle était encore renfermée dans le bassin de captation des Romains. L'eau sortait du pied du mur par six barbacanes ou griffons et sauf le dessus de ce mur qui est d'origine moderne et soutient le chemin de Noé, la base, appareillée en petits moellons est au contraire, une véritable construction romaine. L'eau s'élevait, dans le bassin, à l'altitude de $89^m 45$, à un mètre environ au-dessus du radier de l'aqueduc dont les ruines sont à côté, à l'altitude $88^m 51$.

La source de Saint-Philbert est actuellement à $89^m 07$ et le radier de l'aqueduc romain est à $90^m 43$, ce qui donne déjà un relèvement de $1^m 36$, mais comme la source jaillissait à l'origine à $0^m 60$ plus bas, au niveau des marais, le relèvement total a été de $1^m 96$.

La source de Theil était, au contraire, à $0^m 93$ au-dessus du niveau du radier de l'aqueduc qui passait tout à côté.

On peut se demander pourquoi l'ingénieur romain a relevé

ainsi le niveau de ces sources au risque de les voir se perdre, car la source de Noé, à son état naturel, était à l'altitude 85^m 37 et le radier de l'aqueduc romain, à Sens, à la sonde n° 51, à 77^m 69, soit une différence de 7^m 68. Cette différence divisée par la longueur de l'aqueduc, 11 kilomètres, donne une pente kilométrique de 0^m 68, qui est plus que suffisante.

D'après M. Belgrand, l'explication de cette anomalie est la suivante : on a d'abord capté la source de la Faucaudrie, aujourd'hui perdue, et on a naturellement construit l'aqueduc avec la plus grande pente possible ; on a été ainsi amené à une pente kilométrique de 1^m 02 dans la vallée de la Vanne. Ce premier aqueduc était d'ailleurs construit sans enduit. Plus tard, quand on a voulu capter la source de Noé, on n'a pas voulu reconstruire l'aqueduc entre Sens et le chemin des Fleuris, on l'a simplement prolongé avec la même pente kilométrique sensiblement 0^m 937, jusqu'à Noé. Alors le radier s'est trouvé à 4^m 26 au-dessus de la source qu'il a fallu remonter de cette hauteur.

Plus tard encore, pour la source de Saint-Philbert, on a prolongé l'aqueduc de 4 000 mètres et cette fois avec une pente kilométrique réduite à 0^m 50.

De ce que l'ingénieur romain se soit cru forcé de relever le niveau de la source de Saint-Philbert de 1^m 36, au risque de la voir se perdre dans le marais auquel elle touchait, tandis que sans la relever on disposait encore d'une pente kilométrique de 0^m 19, reconnue bien suffisante aujourd'hui, on est en droit de conclure que la pente de 0^m 50 lui paraissait le minimum, en raison de l'imperfection de ses instruments. La pente qu'il a donné à l'aqueduc est du reste bien loin d'être uniforme et même sans compter la contrepente de 0^m 14 entre les sondes 6 et 7, on remarque qu'elle varie subitement de 0^m 01 à 0^m 47, ce qui tient au mauvais instrument de nivellement, appelé Chorobate.

D'après la description de M. Julliot, les ruines ont absolu-

ment disparu là où l'aqueduc était supporté par des constructions et dans les lieux habités, et cela s'explique par la cherté des matériaux de la vallée de la Vanne, chacun ayant pris ce qui était à sa convenance.

C'était un bloc de maçonnerie rectangulaire stable par lui-même et n'ayant pas besoin de terres pour se soutenir surtout dans l'aqueduc le plus ancien entre Sens et Mâlay-le-Vicomte. Cet aqueduc dont les dimensions étaient exagérées avait 2^m 70 de haut, et 1^m 77 de large ; à l'intérieur sa hauteur sous clef était de 1^m 50 et sa largeur de 0^m 60 environ ce qui laissait aux parois une épaisseur de 0^m 60. Il n'était pas enduit à l'intérieur ce qui paraît extraordinaire.

En ce qui concerne l'aqueduc qui amenait l'eau de la vallée de la Faucauderie, il était moins massif que le premier dans lequel il se jetait au chemin des Fleuris, parce qu'il était construit dans la craie où l'enlèvement des déblais était plus difficile.

Le dernier tronçon d'aqueduc qui va de Mâlay à Saint-Philbert est construit de la même manière et aussi fortement que le premier avec cette différence qu'il était enduit d'un mélange de chaux grasse et de brique pilée. Il existait également des regards dont l'ouverture peu ordinaire était constituée par un bloc carré de craie de 1^m 50 de côté percé d'un trou carré bouché lui-même d'un bloc de craie taillé en forme de bouchon. La manœuvre difficile de ce tampon avait dû être prévue intentionnellement pour empêcher les habitants du voisinage de venir puiser de l'eau.

Cet ouvrage mémorable a été repéré en cinquante-cinq endroits ; sur quarante-cinq sondages, on a retrouvé l'ouvrage intact ; sur vingt de ces points et autres sondages, la voûte et une partie plus ou moins grande des pieds droits sont ruinés. La longueur totale était de 16 kilomètres 700.

Distribution de l'eau

D'après M. Julliot (1), on n'a découvert aucune canalisation dans l'intérieur de ville, ni château d'eau, ni conduit en plomb.

On ferait certainement des découvertes intéressantes en ouvrant des tranchées longitudinales dans les principales rues. D'après la règle admise dans la plupart des villes romaines, il y avait un château d'eau à l'entrée de la ville. En se référant sur le profil de l'aqueduc, l'altitude du radier de ce château d'eau devant être de 77^m 69; cette cote permettait de faire une bonne distribution de rez-de-chaussée dans toute la ville ; en effet, le point le plus élevé de la Grande-Rue, d'où sort aujourd'hui le ru de Mondereau, qui sert à laver les rues de Sens, est à l'altitude 75^m 17. Le pavé de la place de la cathédrale où se trouvait la dernière fontaine dont il est question dans la description de M. Julliot est à l'altitude 74^m 39. Le point le plus bas des rues à arroser est près du pont d'Yonne à 68^m 69 ; enfin, l'étiage de l'Yonne au pont de Sens est à 62^m 45.

Le sol de la ville s'abaisse donc presque régulièrement depuis le point de l'arrivée de l'eau au faubourg Saint-Savinien jusqu'à l'Yonne, condition très favorable pour faire une bonne distribution et quoique l'aqueduc arrivât dans la ville à une faible hauteur au-dessus du pavé de la rue, l'eau devait atteindre facilement tous les rez-de-chaussée.

Les anciens ne demandaient pas autre chose à leurs aqueducs, on ne croit pas qu'ils aient jamais fait des distributions d'étages.

Il n'est pas probable que l'eau ait été conduite depuis un des châteaux d'eau de la ville jusqu'à la fontaine de la place Saint-Etienne par la galerie souterraine découverte, suivant le

(1) *L'Aqueduc romain de Sens*, JULLIOT et BELGRAND, Dunod, Paris 1875, page 43.

récit de M. Julliot, entre la rue du Plat-d'Etain et cette place. L'eau aurait été forcée, dans cette galerie, au moins à son arrivée à la fontaine; jamais les Romains n'ont fait de conduite forcée en maçonnerie par la raison bien simple qu'ils ne connaissaient pas la chaux énergique et à prise rapide improprement appelée « ciment romain. » Ou bien l'aqueduc était en relief au-dessus du sol, soutenu par des substructures, ou bien la distribution se faisait à partir du château d'eau par des conduites en plomb (*fistulæ*) ou en poterie (*tubuli*).

La galerie dont il est question ci-dessus était simplement un égout : des ouvrages de ce genre étaient indispensables dans le voisinage des châteaux d'eau ou des fontaines, en raison de la grande abondance de l'eau dérivée. Sans cela, les rues de Sens auraient été constamment, non pas lavées comme elles le sont aujourd'hui, mais submergées.

D'après les écrits de l'époque, ce furent les sources de Noé et du Miroir de Theil qui furent les premières détournées, par les riverains probablement. Quelques coups de pioche suffisaient à remettre l'eau de ces sources qui avaient été surélevées dans les prés d'alentour. Seule, la source de Vareilles, sortant d'un gouffre profond, dut alimenter la dernière la ville de Sens, parce qu'elle résista plus longtemps sans doute aux entreprises des riverains : c'est pour cela que l'on parle surtout de cette source dans les légendes et les chroniques.

Ru de Mondereau

Quant au XI^e ou au XII^e siècle, l'aqueduc romain fut rompu, on venait de creuser les fossés de la ville alimentés par celui-ci ; ils furent mis à sec et devenaient ainsi inutiles. Il fallut les remplir pour pouvoir faire face aux dangers que courait la ville en cette époque si troublée, où le territoire de la ville était traversé en tous sens par des armées ennemies.

Le rétablissement de l'aqueduc eut coûté trop de temps et d'argent, on se contenta de détourner la rivière de Vanne à Mâlay-le-Grand, pour l'amener à ciel ouvert jusque sous les murs de la ville. Et cela était d'autant plus facile que Mâlay faisait partie du comté de Sens. La Vanne faisait partie du domaine royal et c'est le roi qui accordait ou refusait les concessions d'eau, comme le prouve une charte remontant à l'an 1239. Donc le ru de Mondereau existait déjà à cette époque. Il entrait par l'est de la ville, descendait la rue de la Parcheminerie, depuis rue Thénard, et ressortait par la porte Saint-Antoine, où il faisait tourner consécutivement deux moulins.

Maintenant le ru de Mondereau entier ne passe plus dans la ville. On ne lui prend plus environ que 40 litres par seconde pour laver les rues où l'eau coule jour et nuit. Son cours principal a été dérivé dans les faubourgs du sud où il actionne les moulins et les usines et où il a été conduit au-dessus de la plaine qui l'environne et qu'il peut arroser. Il est infiniment probable que c'est le système romain des ruisseaux qui s'est prolongé jusqu'à nos jours et sous ce rapport, les rues de Sens ressemblent beaucoup à une rue de Pompéi.

D'après M. de Lucca, les dispositions du pavage de cette ville s'appliquent exactement à la ville gallo-romaine. Des pavés scellés en saillie, à la distance du pas moyen d'un homme, permettent de franchir les ruisseaux, aux carrefours des rues et en face de la porte d'entrée des maisons.

Ce mode de lavage des ruisseaux qui est excellent à Sens où les égoûts sont peu nombreux ne gêne en rien la circulation des rues qui est minime, sauf les jours de marché où l'eau est supprimée.

Ce n'est donc que peu après et pour la commodité des habitants que ceux-ci firent creuser les uns après les autres des

(1) DE LUCCA, *Essai sur les Aqueducs romains*, page 164.

puits dans leur maison pour économiser leur course à la fontaine publique dont l'eau devait du reste se ressentir du voisinage de tous les riverains. C'est ainsi que lorsque le ru de Mondereau fut supprimé de la ville elle-même et détourné par les faubourgs au sud, les habitants ne se servirent plus que de leurs puits et ceci, pour beaucoup, jusqu'à nos jours.

Eau de rivière

Toutefois, en dehors de l'eau de puits, les habitants consommèrent une eau qui leur semblait meilleure. Le porteur d'eau exista à Sens, jusqu'à l'arrivée de l'eau de source, et il vendait l'eau au seau : 0 fr. 15. Il se rendait tous les matins à la rivière, en aval, au-dessus du confluent de la Vanne, puis il faisait entrer l'âne et la voiture dans l'eau jusqu'à la hauteur des essieux ; il remplissait son fût avec le seau sans autre précaution. On retrouve encore, dans les vieilles familles sénonaises, la cruche de grès dans laquelle on gardait soigneusement l'eau qui revenait ainsi assez cher le mètre cube et qui n'en semblait que plus délectable.

CHAPITRE II

GÉOLOGIE DE SENS ET DES ENVIRONS

Des études antérieures à ce travail ont été faites sur la vallée de l'Yonne et je citerai les résultats consignés dans la statistique géologique et minéralogique de l'Yonne de Raulin et dans les notes de M. Aurélien Valette, qui furent publiées dans le bulletin de la Société archéologique de Sens.

Située dans une large vallée, la ville de Sens est entourée de coteaux entièrement composés de craie blanche et qui sont surtout rapprochés à l'ouest de la ville où ce front crayeux percé par de multiples entrées des carrières de craie à bâtir et de blanc d'Espagne, ressemble de façon frappante à une falaise des bords de la Manche.

Le sol est d'alluvion ancienne, recouverte sur la ville par des terrains de remblai. Cette alluvion est composée de terre rouge avec silex très serrés reposant sur un sable grêveux composé de petits silex et de grève jurassique. Cette dernière domine dans le voisinage de la rivière : on y voit de petits galets de granit rose. Les silex deviennent plus abondants à mesure qu'on approche des collines. On a trouvé au cimetière N.-E. dans cette alluvion caillouteuse des dents d'éléphant fossile et à un autre endroit une mâchoire avec deux mollaires de chaque côté qui a été déposée au musée de la ville (1).

(1) V. RAULIN, *Statistique géologique du Département de l'Yonne*, Baillière, Paris 1858, page 581.

Dans une carrière, à la rencontre des deux vallées de la Vanne et de l'Yonne, une coupe a montré les dispositions suivantes sur une épaisseur de 2 mètres :

- 1 Terre végétale.
- 2 Sable siliceux et silex roulés.
- 3 Sable siliceux et grève crayeuse.
- 4 Sable fin sans grève.
- 5 Grève crayeuse assez fine.
- 6 Argile sablonneuse olivâtre formant un lit peu épais.
- 7 Grève crayeuse avec traces de tourbe.
- 8 Sable fin et pur.
- 9 Grève crayeuse.
- 10 Sable fin.

Cette couche d'alluvions quaternaires du fond de la vallée va en s'amincissant à mesure qu'on approche des coteaux où elle se réduit à une couche de terre végétale avec immédiatement au-dessous la craie sans intermédiaire de graviers. Au contraire, dans le milieu de la vallée elle atteint, avec les mouvements du terrain, une épaisseur variable qui est quelquefois considérable.

Cette assise de craie qui constitue le fond de la vallée et les collines qui l'entourent, a reçu le nom de craie sénonienne, par d'Horbigny, parce qu'elle présentait le type le plus pur de cette sorte de craie et aussi pour empêcher les confusions, car avant que l'exemple de d'Horbigny eût été universellement suivi, cette craie portait différents noms.

Elle est blanche, tendre, quelquefois légèrement endurcie, ne présentant le plus souvent que des indices de stratification, mais traversées par de grandes fissures, soit à peu près verticales, soit plus ou moins inclinées. Ordinairement, il y a une grande quantité de rognons de silex pyromaque blond, gris ou noir, qui se séparent très nettement de la masse crayeuse ; le plus souvent, ils sont de la taille du

poing ou deux ou trois fois plus gros, disposés en lits réguliers espacés de 0^m50 à 1 mètre ; parfois, il y en a de plus petits disséminés sans ordre entre les lits irréguliers ; beaucoup plus rarement, comme à Foissy, la craie ne renferme que des rognons irrégulièrement disséminés. La silice est d'ailleurs répandue d'une façon peu uniforme soit à diverses hauteurs dans l'assise, soit dans les diverses localités.

L'épaisseur moyenne de l'assise est de 140 mètres, mais elle va certainement beaucoup en augmentant vers la partie centrale du bassin dans la direction de Paris.

Depuis le dépôt de la craie sénonienne, les couches qui la composent ont à peu près conservé leur position horizontale. C'est ce que l'on constate par l'observation des cordons de silex qui, comme sur la falaise de Paron ou celle de Saint-Martin-du-Tertre, divisent le front de craie de manière si curieuse. Cependant, dans l'ensemble des assises, on remarque une faible inclinaison générale qui suit une direction nord-ouest. Raulin l'a fixée à 0°80. M. Lambert, qui a fait une étude si consciencieuse de notre craie sénonienne, estime que ce chiffre est trop faible. Pour lui, l'inclinaison générale varie rapidement d'un point à un autre. D'après ses observations personnelles, l'inclinaison du Sénonais inférieur à Saint-Julien-du-Sault est de 0°40. A Sens, pour les couches moyennes de l'étage, elle ne serait plus que de 0°35 et seulement de 0°25 à Montereau, pour la partie supérieure du bassin géologique.

La faune de la craie est relativement très pauvre surtout si on la compare avec les types littoraux du même étage, tels que ceux de la Sarthe ou de la Touraine. Sur une épaisseur de 10 mètres de craie, on ne trouve souvent absolument rien en dehors des foraminifères microscopiques disséminés par milliers dans les sédiments. Il faut suivre les couches fossilifères horizontalement sur le front de craie pour finir par trouver de bons échantillons. En suivant ce conseil de

M. Valette, j'ai pu vérifier nombre de fossiles déjà cités par lui ou par Raulin.

Les poissons n'ont jamais donné de spécimens entiers. M. Valette a trouvé la partie postérieure d'un poisson, mais on trouve seulement les dents rapportées aux genres *Otodus*, *Odontaspis*, *Anodus*, *Coran* et *Oxyphyna*, tous poissons d'assez forte taille.

Les reptiles ont été signalés par M. Lambert, qui a fait la découverte de fragments de côtes, six vertèbres, deux fragments de mâchoires avec plusieurs dents dans les alvéoles, rapportées au *Mesausaurus Hoffmanni* qui était un crocodile de 8 mètres de long avec une queue énorme comprenant jusqu'à cent vertèbres.

On retrouve les Annélides par le *Spirorbis*, qui est toujours enroulé en spirales sur le test des Echinides.

Les Céphalopodes sont nombreux à Soucy où on trouve des *Belemnites*. On a signalé l'*Ammonites Neptuni* à Armeau et l'*Ammonites Moureti* à Maillot.

M. Lambert a signalé des empreintes de Castéropodes presque uniques, un *Pleurotomaire* et un *Cerithium*.

Pour les Lamellibranches, M. Valette a vu, à Paron, un fossile complet d'*Inoceramus Digitalus* d'au moins 50 centimètres de diamètre. Les *Pecten* et les *Lima* sont reconnus souvent ainsi que les *Ostrea*, les *Spondiles* et les *Grania*.

Les *Terebratula*, *Kingela Lima* et les *Rhynchonella* représentent les Brachiopodes.

On retrouve une cinquantaine d'espèces d'Echinides dans notre région. Les Stelléides sont très rares. Les Grinoides n'ont que deux espèces dans le Sénonais : le *Bourguetricrinus Ellipticus* et le *Marsupites Ornatus*.

Raulin a déterminé un grand nombre de Foraminifères ainsi que des Spongiaires telles que le *Tracos Pisciformis* et le *Coscinopora Infundibuloformis* qui est si curieux par sa forme de chapeau chinois,

Comme curiosités minéralogiques qui peuvent se rencontrer dans la craie des environs de Sens, il faut citer des rognons de sulfure de fer ou pyrite d'une variété appelée Marcassite, dont les cristaux presque blancs sont fins comme des aiguilles. Ces rognons se désagrègent à l'air en s'oxydant et en perdant leur soufre.

On trouve aussi des cristaux de calcaire spathique dont de beaux échantillons ont été découverts aux fours à chaux de Paron. Il est cristallisé en rhomboèdre et remplit certaines lignes de fracture.

Cette craie résulte du tassement long et continu des testes de Foraminifères qui se sont agglutinés au fond des eaux. Etait-ce au fond des océans par plusieurs milliers de mètres de profondeur? M. Valette le pense et s'appuie sur la formation océanique actuelle de la boue à globugérines. Nous supposons plutôt que le dépôt s'est fait au fond d'un golfe de profondeur moyenne et que celle-ci ne devait pas dépasser mille mètres comme les récents travaux des croisières océanographiques nous ont démontré les mêmes formations aux mêmes profondeurs.

La vallée s'est ensuite formée par la désagrégation de ces masses calcaires par les pluies diluviennes, chargées d'acide carbonique, qui dissolvaient la craie ; et de nos jours ce travail d'érosion, quoique plus lent, a lieu encore sur le flanc des coteaux où la forêt disparue, laisse former des entailles à pic nommées « crocs. » Le travail d'érosion continue aussi dans l'intérieur de la masse calcaire par l'élargissement des fissures et des diaclases.

L'époque glaciaire a rôdé considérablement les rives calcaires de la vallée primitive. Dans cette vallée très large de l'époque tertiaire, la rivière a laissé déposer des alluvions sablonneuses, que nous avons décrites au début de ce chapitre, et dans lequel elle s'est creusé le lit actuel. C'est de la même façon que se sont formées les vallées secondaires qui

découpent les massifs voisins dont l'altitude est restée assez élevée et où la circulation des eaux soulève des problèmes intéressants qui seront étudiés plus loin.

CHAPITRE III

L'EAU DE SOURCE

Ce n'est qu'en 1881, que l'eau de source fut distribuée en ville par des canalisations ; cette eau de source provient de l'aqueduc général qui collecte l'eau des sources captées par la ville de Paris, dans la vallée de la Vanne. La ville de Sens, par une convention dont nous parlerons plus loin, obtint alors cette concession d'eau de source qui, en d'autres circonstances, lui aurait coûté très cher comme captation et comme adduction. De plus, l'eau que la ville de Paris donne à la ville de Sens est de toute première qualité, comme l'étude des sources va nous le montrer.

La Vanne prend sa source dans le département de l'Aube, à Fontvanne, petite commune près d'Estissac et située au fond d'une vallée crayeuse à 14 kilomètres à l'ouest de Troyes. A Estissac, elle reçoit deux affluents, d'habitude à sec : à droite, le Betro, et à gauche, l'Ancre. Elle traverse les communes de Fontvanne, Bucey-en-Othe, Estissac, Neuville, Villemans-en-Othe, Paisy-sous-Godon, reçoit au-dessus de Paisy son principal affluent, la Nosle ; c'est à partir de cet endroit que son débit devient régulier et important. Elle traverse ensuite Courmononcle, Saint-Benoît, Vulaine, sort du département de l'Aube et entre dans l'Yonne à Flacy. Avant ce pays, elle reçoit à gauche le ruisseau de Cerilly. Elle arrose ensuite les territoires de Bagneaux, Villeneuve.

l'Archevêque, Molinons, où elle reçoit l'Alain, à droite, Foissy et Chigy où elle reçoit à gauche le ru de Vanne, coulant à peine pendant l'été. En amont de Pont-sur-Vanne, elle reçoit à gauche le ru de Vareilles, puis traverse Pont-sur-Vanne, Theil, Noé, Mâlay-le-Petit, Mâlay-le-Grand, Maillot, et débouche dans l'Yonne un peu en amont de Sens.

A l'inverse de la Dhuis, qui doit à une source unique presque tout son débit d'été, la Vanne ne reçoit à son origine qu'une alimentation très affectée par les sécheresses ; c'est seulement dans la partie moyenne de son cours qu'elle recueille des sources de débit peu variable.

Les sources que la ville de Paris possède dans la vallée de la Vanne et qui en basses eaux ordinaires donnent ensemble plus de 120 000 mètres cubes par vingt-quatre heures, sont disséminées sur plus de 20 kilomètres. Elles se divisent en sources hautes, dérivées au réservoir de Montsouris par la simple action de gravité, et en sources basses qui sont relevées au niveau du plan de l'aqueduc par trois usines et sont toutes situées sur la rive gauche de la Vanne : une seule, celle du Bime de Cerilly, jaillit dans la vallée d'un affluent. Ces sources hautes situées, partie dans l'Aube, partie dans l'Yonne, sont au nombre de cinq : source du Bime de Cerilly qui jaillit au fond d'un abîme, la Bouillarde, sources d'Armontières, drains de Flacy et source Gaudin. Il existe sept sources basses qui sont d'amont en aval : source de Chigy, dite des Pâtures, sources du Maroy, de Saint-Philbert, de Malhortie, de Capray-Roy et de l'Auge, du Miroir de Theil, de Noé, la plus basse de toutes. Un autre groupe de sources se joint aux précédentes un peu avant Sens.

La limpidité de l'eau est fort grande, quelque soit la profondeur du bassin ; au moment des grandes crues, on a constaté parfois un trouble léger dans la pureté, momentanément toujours ; quant à la source de Saint-Philbert, elle est toujours parfaitement limpide,

La distinction faite par les ingénieurs, à l'origine, en sources hautes ou sources basses, suivant qu'elles coulent dans l'aqueduc à leur sortie de terre ou bien qu'on est obligé de les surélever, n'est pas du tout ce qu'elle est réellement si on considère les sources au point de vue de leur alimentation par des nappes alluvionnaires, par des nappes locales de collines crayeuses ou par des nappes profondes.

Or ces sources venant de différentes nappes sont, comme nous le verrons plus loin, plus ou moins fortement minéralisées suivant leur origine; il nous sera de plus inutile de rechercher la composition de chaque source en particulier, puisque la ville de Sens ne consomme que le mélange de toutes ces sources et que la composition de ce mélange dont l'étude serait fastidieuse, nous entraînerait à recopier sans grand intérêt nouveau, de nombreux tableaux de résultats qui sont publiés depuis plus de trente années.

La haute valeur potable de l'eau des sources de la vallée de la Vanne est établie aux yeux de tous et cette constatation nous conduit à étudier l'origine de la servitude de la ville de Paris qui met la ville de Sens dans une position privilégiée.

C'était à l'époque où la ville de Paris venait de se voir débouter de sa demande d'expropriation des sources de la vallée de la Somme-Soude. Elle se retourna d'un autre côté et fit faire des études préliminaires dans la vallée de la Vanne. Elle acheta ensuite les sources sans ébruiter sa tactique; en même temps elle acquérait vingt-deux usines ou moulins que la Vanne faisait mouvoir, excepté ceux du ru de Mondereau dont elle garantissait le volume d'eau, car à cette époque une force de 1150 chevaux environ était fournie par les chutes d'eau de la vallée dont la puissance totale était de 5 000 chevaux.

Mais ces achats, tout en faisant disparaître les dommages directs aux riverains, causaient un tort indirect mais certain aux agglomérations voisines et surtout à la ville de

Sens où la majorité de ces usines fonctionnait, et dont la population ouvrière sans travail allait disparaître en partie.

Une campagne d'agitation par les articles de journaux, par les pétitions à l'empereur en 1865 et par les démarches des corps élus, en particulier des maires successifs de Sens, MM. Deligand, Provent, Vidal, finit par triompher au bout de quelques années, des attermoiments de l'administration parisienne : la ville de Sens obtint en dédommagement de la diminution du débit de la Vanne, diminution qui portait sur 1 170 litres à la seconde, la canalisation gratuite et un débit de 6 litres 9/10 par seconde.

En 1881, ces 60 mètres cubes par vingt-quatre heures assuraient aux 11 000 habitants une quantité d'eau égale à 50 litres par tête et par jour. Mais la population atteignant 15 000 habitants vers 1899, chaque habitant n'avait plus à sa disposition que 40 litres par jour : c'était notoirement insuffisant surtout pendant les chaleurs prolongées de certains étés.

Dès 1882, la municipalité sénonaise rechercha les moyens de se procurer de l'eau potable en plus grande quantité. On pensa d'abord à capter une partie du ru de Mondereau qui aurait servi aux besoins communaux d'eau non potable ; puis on projeta de capter la source de Collemiers ; enfin, on se préoccupa de construire une galerie filtrante dans les terrains en amont de la Ballastière. Tous ces projets coûteux furent abandonnés les uns après les autres, parce qu'ils ne donnaient pas d'eau ayant les mêmes qualités que l'eau de la Vanne.

Cette question fut remise à l'ordre du jour en 1898, à la suite d'un été particulièrement sec. A cette époque, le docteur René Moreau fit d'abord adopter par le conseil municipal le principe de l'agrandissement du réservoir de la ville, puis en 1909, il présenta un rapport très étudié concluant à la cession à la ville de Sens par M. et Mme Laurent, proprié-

taires, de 4 litres d'eau à la seconde et de 1 500 000 litres tous les trois ans lesquels étaient dûs par la ville de Paris pour l'alimentation des pièces d'eau du château de Theil et provenant de la source du Miroir. Des négociations furent alors entamées pour obtenir l'amenée dans le réservoir de Sens de ces 4 litres supplémentaires par la canalisation de la ville de Paris ; celle-ci devait y trouver de réels avantages par suite de la suppression des pièces d'eau dont les infiltrations étaient une cause de contamination pour le Miroir, et de la possibilité de mise en décharge de cette source que la servitude de 4 litres à la seconde empêchait d'effectuer. Après de nombreuses démarches, la ville de Sens ne put obtenir à partir de 1900 que 2 litres de plus à la seconde et dut payer tous les frais de l'assèchement des pièces d'eau.

Le résultat de cette opération n'en fut pas moins très important, car, au point de vue hygiénique, la source du Miroir devenait une source de bonne qualité et ne pouvait plus polluer l'eau distribuée à Sens aussi bien qu'à Paris.

Au point de vue du cubage d'eau, la ville de Sens disposait de 773 mètres cubes d'eau au lieu de 600 par jour et le nombre de litres d'eau par tête d'habitant était porté à 51,53 par vingt-quatre heures.

L'aqueduc général de dérivation des sources dont il vient d'être question passe sur le flanc des coteaux qui bordent la vallée de la Vanne, puis celle de l'Yonne. Près du chemin des Saints-Pères, à la cote 103,41, se trouve la prise d'eau qui alimente la ville de Sens. A cet endroit, une fenêtre avec une vanne réglable et graduée débite la quantité d'eau concédée et en permet la surveillance ; on peut aussi vérifier la quantité d'eau au moyen d'un bassin calibré dont on calcule le temps de remplissage : il existe un tuyau spécial pour cette opération.

De là l'eau descend en ville dans une conduite en fonte de 0^m 20 centimètres de diamètre ; celle-ci envoie des ramifica-

tions dans les rues adjacentes en suivant le faubourg Saint-Savinien, la rue Thénard, la place de la République, la Grande-Rue, puis traverse les deux ponts avec l'île d'Yonne et par la rue Emile-Zola gagne le pied de la montagne où se trouve situé le réservoir à la cote 96,50. Il y a donc 6^m 91 de différence de niveau entre les deux extrêmes de la canalisation principale aboutissant au réservoir qui se remplit et se vide par la même conduite et qui sert de régulateur de pression. L'eau peut quelquefois séjourner assez longtemps dans le réservoir, sans danger du reste, comme l'a démontré d'une façon curieuse le fait suivant.

En 1900, pendant les grandes chaleurs, le niveau de l'eau qui est normalement de 3 mètres dans le réservoir, tomba à 6 centimètres du fond où se trouvait naturellement un dépôt de vase, le quartier de la gare et celui de l'île furent alimentés uniquement par l'eau du réservoir, car l'eau venant de l'aqueduc général suffisait à peine à la consommation exagérée de ces journées de canicule pour le reste de la ville. Il ne se produisit cependant aucun cas de fièvre typhoïde dans les quartiers ainsi desservis, ce qui permet de ne plus suspecter l'eau stationnant dans le réservoir dont le dépôt analysé depuis n'a révélé qu'un nombre très restreint de microbes vulgaires.

L'eau est mise à la disposition des habitants par des bornes-fontaines publiques au nombre de quarante-neuf et par les concessions particulières payantes. Nous ne pouvons que regretter de voir tout un quartier important comme Saint-Paul manquer totalement d'eau de source, faute de canalisation dans ce faubourg.

CHAPITRE IV

EAUX DE PUITES

L'eau de source dont nous venons de décrire l'origine, la captation et la distribution, ne suffit cependant pas à l'alimentation totale de la ville, car, par économie ou manque de canalisations dans le quartier, nombre d'habitants ne consomment que l'eau des puits situés soit dans les propriétés particulières, soit sur le terrain communal.

Comme nous ne pouvons songer à étudier l'eau de tous les puits en service, nous avons dû faire un triage et, après des études préliminaires, étudier seulement les puits les meilleurs. Ce triage, nous l'avons opéré par une reconnaissance préalable de tous les puits, reconnaissance que nous expliquons plus loin, mais qui nous amena à une conclusion inacceptable pour la suite de notre étude, car elle ne nous permettait l'analyse ultérieure et plus complète des eaux reconnues que sur un petit périmètre seulement de la ville.

Dans ces conditions, nous avons analysé non seulement les points intéressants dégagés par la reconnaissance, mais encore les points d'eau qui, quoique reconnus altérés de prime abord, n'en sont pas moins intéressants en ce qu'ils servent journellement à l'alimentation des habitants.

Nous avons ainsi été amené à analyser complètement cinq puits sur la rive gauche de l'Yonne, un puits dans l'île formée par les deux bras de cette rivière et vingt-huit puits sur la rive droite où s'étale la plus grande partie de la ville.

Comme les analyses n'ont pas été faites à la même époque nous avons refait l'analyse dans la saison contraire pour six puits que nous pouvions supposer donner des résultats différents ; nous les retrouverons dans la discussion des résultats.

Reconnaissance préalable des puits

La méthode que nous avons employé pour reconnaître les puits intéressants à étudier en dehors de toute contamination locale consiste à doser approximativement et sur place la quantité de chlorures contenue dans l'eau à examiner.

Pour effectuer ce dosage rapide nous avons constitué un nécessaire portatif dans un étui à appareil photographique pliant, cet étui se portant en bandouillère. Dans l'étui se trouvent :

- 1° Un compte-goutte calibré.
- 2° Une solution de nitrate d'argent normale au 1/10.
- 3° Un flacon compte-goutte contenant une solution à 10 0/0 de chromate de potasse.
- 4° Une éprouvette graduée à 50 cc.

Nous versons l'eau à examiner dans l'éprouvette jusqu'au trait de 50 cc., puis nous ajoutons 2 gouttes de la solution de chromate et au moyen du compte-goutte nous laissons tomber 6 gouttes de la solution d'azotate d'argent. Si la coloration rouge, apparaît avec ces six gouttes ou même avant, c'est que l'eau à examiner contient moins de 0,015 de Cl par litre.

Au cas contraire, nous continuons à verser jusqu'à la coloration rouge et nous savons approximativement la quantité de chlore contenue dans l'eau. Les eaux potables en général, ne dépassent jamais 0,015 ou 0,020 de chlore par litre.

C'est dans ces conditions que nous avons fait la reconnaissance de soixante-dix puits sur la rive droite et de vingt-

neuf sur la rive gauche. En dehors de l'essai du chlore, nous aurions pu employer celui des nitrites, mais à titre complémentaire seulement, avec un appareil analogue portatif, mais dans l'espèce cet essai complémentaire ne nous aurait avancé en aucune façon, car nous n'avons pu suivre à la lettre les conclusions de l'essai du chlore.

La première idée de cette reconnaissance préalable nous a été suggérée par une conversation avec M. Malmejac, à ce moment à Lille où il commentait devant nous les résultats excessivement rapides et pratiques obtenus par les pharmaciens de l'armée japonaise dans la classification des points d'eau jusqu'alors inconnus et qui, avec des troussees portatives identiques, ont pu éliminer les causes principales de maladies dans une armée en campagne.

En étudiant les résultats obtenus nous avons été amenés à remarquer, sur la rive droite, une zone dont les eaux après une période sèche assez longue, contiennent moins de 0,015 de chlore par litre. Mais après une période d'humidité, ces eaux étant polluées par des infiltrations de surface, la teneur en chlore augmente considérablement.

La ligne qui délimite cette région passe à l'est du cimetière en partant du nord, traverse la ville en biais en effleurant le grand séminaire et rejoint la rue du Tau dans le faubourg Saint-Pregts, au sud.

A l'est de cette ligne, les puits ont une eau temporairement peu chargée en chlore, tandis qu'à l'ouest, sous l'influence des contaminations ménagères et des fosses d'aisances, l'eau contient une proportion de chlore bien supérieure à la moyenne.

Nous verrons, du reste, par l'analyse complète, que certains puits ainsi contaminés voient augmenter leur teneur en chlore dans des proportions véritablement anormales.

CHAPITRE V

RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Cette méthode est basée sur l'emploi de la conductibilité électrique des eaux, conductibilité qui mesure, comme on sait, le degré de minéralisation d'une eau.

On sait, en physique, que, dans l'eau pure, l'eau distillée d'une façon spéciale dans des appareils également spéciaux (en or ou en platine), le courant électrique ne peut passer ou, s'il y passe c'est avec une intensité si faible qu'on peut l'attribuer à des traces d'impureté que, malgré les appareils employés, on ne peut éliminer.

Qu'on vienne à dissoudre dans cette eau une petite quantité d'un sel quelconque, du sel marin par exemple, aussitôt on verra l'intensité du courant augmenter. Les molécules de sel dissous conduisent le courant électrique. Plus il y a de substance dissoute, plus le courant électrique passe avec facilité.

On désigne sous le nom de conductibilité électrique l'inverse de la résistivité électrique de l'eau. La résistivité électrique spécifique d'une eau (qu'on désigne par φ) est la résistance qu'oppose au courant électrique un volume d'eau ayant un centimètre carré de section et un centimètre d'épaisseur. La conductibilité est donc désignée par la fraction $\frac{1}{\varphi}$.

Cette méthode inventée par M. Diennert (1), fut conçue par

(1) F. DIENERT, *Hydrologie agricole*, page 160, Baillière, Paris 1907.

lui pour faciliter la détermination du périmètre d'alimentation d'une source par la conductibilité électrique, les autres moyens préconisés jusque-là lui paraissant insuffisants.

Avant d'entrer dans le détail de cete méthode, il est intéressant de mentionner les controverses auxquelles elle a donné naissance et qui nous permettront de mieux préciser sa portée.

M. Bonjean, chef du laboratoire du Conseil d'hygiène publique de France, a prétendu que « les résultats de ces méthodes électriques varient d'un moment à un autre, suivant l'état même des électrodes d'une expérience à une autre, suivant de faibles écarts de température, suivant une foule de circonstances ignorées et indépendantes de la composition même de l'eau étudiée. »

Il ajoute : « Ces méthodes ne sauraient être opposées aux méthodes chimiques et surtout bactériologiques, méthodes précises, sensibles et absolument rigoureuses d'appréciation de la qualité des eaux (1). »

A cette prétention que seules les vieilles méthodes étaient sérieuses et précises, le docteur Chassevant riposta aussitôt en mettant au point la question de l'analyse des eaux.

« Actuellement, dit-il, ce n'est qu'en multipliant les moyens de contrôle que l'on peut essayer de prévenir les épidémies hydriques : enquête géologique, examen physique, résistivité électrique, analyse chimique, examen bactériologique, surveillance médicale, doivent concourir au même but...

« ...Cette méthode n'est pas plus capable que les autres méthodes chimiques ou bactériologiques de donner avec précision et certitude un résultat rigoureusement exact. Elle

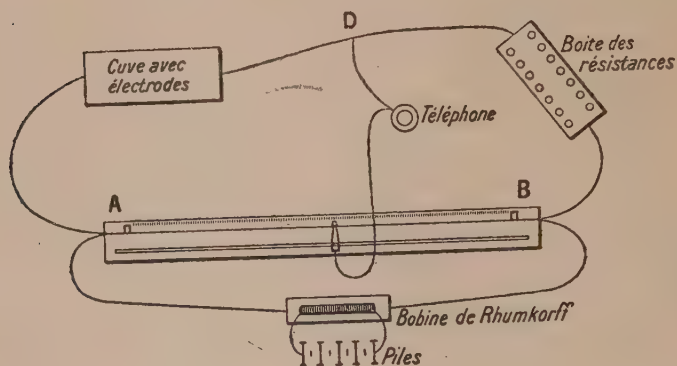
(1) Edmond BONJEAN, *Sur la mesure de la résistivité des eaux de sources*.
L'Edilité technique, mars 1909, page 266.

doit être contrôlée par les autres moyens d'investigation que nous venons d'énumérer (1). »

Il est certain qu'il faut se reporter à l'idée de son auteur qui disait : « Il faut mettre cette méthode à l'étude pendant plusieurs mois, dans les régions à étudier afin d'arriver à connaître le régime de la source et l'interprétation rapide et vraisemblable à donner aux résultats obtenus (2). »

Cette méthode électrique n'a donc pas la prétention de donner du premier coup la composition minérale d'une eau mais plutôt son état d'équilibre interne qui peut varier à l'infini et qu'il nous est très précieux de connaître. Etudions donc son fonctionnement.

Pour déterminer la résistibilité électrique d'une eau on possède une méthode excessivement rapide et commode, celle de Kohlrausch.



Sur une règle graduée en millimètres est tendue un fil de platine de 0^{mm} 2 de diamètre. La longueur du fil est de un

(1) Dr CHASSEVANT, *Sur la mesure de la résistivité des eaux de sources*. Edilité technique, année 1909, page 288.

(2) F. DIENERT, *Résistivité électrique*. Edilité technique, année 1909, page 252.

mètre. Les extrémités de ce fil sont en relation avec une bobine de Rhumckorff d'une part et d'autre part avec un autre circuit composé d'une cuve dans laquelle on mettra l'eau et d'une boîte de résistance. Enfin, entre la cuve et la boîte de résistances part un fil par lequel le courant vient retrouver un téléphone. Le courant alternatif fourni par la bobine de Rhumckorff arrive à l'extrémité du fil. Là, il se divise en deux parties, l'une parcourant le fil de platine, l'autre se dirigeant à travers la cuve et la boîte de résistances. Le téléphone qui est installé en pont recevra une partie du courant alternatif tant que le potentiel en D et en C ne sera pas égal. En déplaçant le curseur mobile C tout le long du fil on arrive à trouver un point C pour lequel le téléphone ne donne plus de son. La théorie indique que cette position du curseur C dépend de la résistance de la cuve et de celle de la boîte à résistances.

Si l'on désigne par Q la résistance de l'eau dans la cuve, R la résistance de la boîte à résistances, la théorie (1) montre que

$$\frac{Q}{R} = \frac{AC}{CB} \text{ d'où } Q = R \frac{AC}{CB}$$

Comme Q dépend des dimensions de la cuve, l'expérience

(1) Ce calcul théorique est le suivant : Si I est l'intensité du courant provenant de la bobine de Rhumckorff en A, le courant se divise en deux autres d'intensité i et i' tels que $I = i + i'$.

D'autre part la différence de potentiel de A à D $= e = i'Q$ et de A à C $= e = ir$ (r étant la résistance du fil AC).

Il n'y a plus de courant dans le téléphone quand $e = e'$, c'est-à-dire pour (A) $ir = i'Q$.

La même conséquence sera réalisée quand la différence de potentiel entre D et B et C et B sera identique, c'est-à-dire quand $ir' = i'R$ (A) r étant la résistance du fil CB.

En divisant l'égalité (A) par l'égalité (B) on a $\frac{r}{r'} = \frac{Q}{R}$ et comme $\frac{r}{r'} = \frac{AC}{CB}$, on tire l'expression $Q = R \frac{AC}{CB}$.

apprend que $Q = r \frac{l}{s}$, r étant le coefficient qu'on désigne sous le nom de résistance électrique spécifique, l la distance des électrodes et s la section mouillée de ces électrodes.

Comme c'est r qu'on cherche on a : $r = \frac{s}{l} R \frac{AC}{CB}$.

Cette méthode de mesure est excessivement sensible et ne demande qu'un faible temps d'apprentissage. La précaution à prendre est d'opérer toujours avec de l'eau à la même température. On a fixé celle-ci à 18°, l'expérience ayant démontré que cette température n'est plus commode à obtenir parce qu'elle est celle du laboratoire.

On réchauffe l'eau dans la cuve au moyen d'un ballon en verre rempli d'eau bouillante; on refroidit l'eau par un procédé identique en mettant à la place de l'eau bouillante, de l'eau froide à 10° ou 12°. Quelques expérimentateurs préfèrent faire une correction de température, mais ce coefficient est toujours suspect et il vaut mieux opérer à température constante.

Les applications de cette méthode ont donné des résultats remarquables et elle sert couramment à reconnaître à quelle nappe d'eau appartient la source ou le point d'eau que l'on veut étudier.

On comprend, en effet, parfaitement que si une nappe d'eau est profonde et vient d'une région éloignée, comme cela arrive dans la craie sénoniennne, elle circule dans le grandes diaclases où elle se trouve en contact avec une quantité relativement minime de matériaux, calcaires pour le cas qui nous intéresse, et qu'elle en dissout très peu. Voilà donc une eau peu minéralisée qui, par le fait même, a une très grande résistivité électrique.

Dans le cas d'une nappe n'englobant qu'une surface restreinte, au contraire, et formée par infiltration dans des terrains assez poreux où elle circule dans de petites diaclases à

une vitesse excessivement faible, on conçoit de même que la craie au contact avec une grande quantité de matériaux en dissout une proportion notable et elle se trouve avoir une résistivité beaucoup plus basse que celle des eaux profondes.

Enfin, on peut se trouver en présence d'eaux à circulation très lente et d'origine alluvionnaire, dans le fond des vallées par exemple. L'eau, en plus des matériaux qui peuvent la saturer, se trouve encore contaminée directement à travers les couches plus ou moins épaisses qui la séparent de la surface du sol par les matières solides ou liquides, déchets ou engrais qui sont entraînés par la filtration des eaux de pluie ou de surface.

On peut prétendre que ces différenciations de nappes ont pu être faites avant que l'on n'ait employé la résistivité électrique. Elles existaient, en effet, mais pour être visibles ces dissemblances devaient se produire sur des eaux fortement différentes et quand même les anciennes méthodes ne permettaient pas de faire des graduations nettes que nous avons indiquées; par exemple, en se basant sur la chaux, il n'y a entre deux eaux de natures diverses que quelques milligrammes de différence et il faut faire intervenir d'autres éléments pour arriver à différencier ces nappes.

Avec la résistivité électrique au contraire, les eaux se trouvent différenciées par plusieurs centaines d'ohms.

On constate, par exemple, pour les eaux

	profondes	superficielles	d'alluvions
Chaux	== 108mmgr	123mmgr	126mmgr
Degré hydrotimétrique	= 20°5	24°	26°5
Résistivité	= 2850 ohms	2400 ohms	2100 ohms

La résistivité a encore l'avantage de pouvoir reconnaître le mélange de deux nappes de résistivité connue et de donner le pourcentage de leur mélange.

Il arrive fréquemment que, dans les puits et les sources,

deux nappes sont superposées et que la supérieure donne des infiltrations dans le puits ou le bassin de la source. Connaissant la résistivité de chacune des deux nappes, avec la résistivité donnée par le mélange, nous pouvons déjà déterminer le pourcentage de la contamination ; la connaissance du débit de la source ou du cubage du puits nous permet enfin de mesurer exactement la quantité de l'une des eaux qui se mélange à l'autre.

La résistivité finale pour un litre d'eau étant proportionnelle au mélange des deux nappes, si, par exemple, l'une d'elles a une résistivité de 2 000 ohms et l'autre 2600, tandis que le mélange n'a que 2 400 on peut dire que la proportion du mélange est de un tiers de la première contre deux tiers de la seconde.

Nous avons eu, dans le cours de nos travaux, à déceler la contamination d'un puits par une nappe superficielle et l'exposé des faits qui nous ont fait mettre en lumière cette contamination nous permet d'apprécier la netteté et la rapidité avec laquelle nous avons vu reconnaître l'origine et le pourcentage de la contamination.

Le puits communal de la porte Formau, à l'extrémité de la Grande-Rue, est surmonté d'une pompe à grand balancier et est creusé sous le trottoir sud de la rue. A un mètre de la pompe, dans le caniveau pavé, débouche le conduit amenant l'eau du ru de Mondereau dans les rues de la ville ; ce conduit donne un débit moyen d'une dizaine de litres à la seconde, mais cesse de fonctionner le dimanche, et le lundi on ne remet l'eau qu'à 5 heures du soir, après le marché.

Ayant fait une première prise d'échantillon pour la résistivité, nous trouvions 2 475 ohms, ce qui était anormal à cet endroit où la nappe alluvionnaire qui alimente ce puits n'a que 2 400 au maximum. Il était utile de faire des prélèvements quotidiens et d'examiner attentivement les résultats obtenus qui furent :

EN AVRIL

Samedi	2 140 ohms	9 69 chlore
Dimanche	2 341 —	9 76 —
Lundi	2 169 —	9 82 —
Mardi	2 442 —	9 75 —

Soit une différence de 273 ohms et de 0,13 en chlore seulement.

EN MAI

Samedi	2 414 ohms	9 85 chlore
Dimanche	2 412 —	9 86 —
Lundi	2 384 —	10 02 —
Mardi	2 472 —	9 83 —

Soit une différence de 88 ohms et de 0,17 en chlore seulement.

EN JUIN

Samedi	2 252 ohms	9 32 chlore
Dimanche	2 532 —	9 34 —
Lundi	2 395 —	9 83 —
Mardi	2 502 —	9 44 —

Soit une différence de 157 ohms et de 0,45 en chlore seulement.

L'augmentation de la résistivité les jours de semaine et la diminution les jours de fête ou dimanches et lundis correspondait au fonctionnement ou au non-fonctionnement du ruisseau dans le caniveau à côté de la pompe.

L'eau s'infiltrant entre les joints des pavés suintait en un mince filet contre la paroi du puits et suivant que l'on pompait plus ou moins donnait une augmentation plus ou moins grande de la résistivité. Comme celle-ci a monté en juin à 2 552 environ, nous voyons qu'à certains jours où l'on pompait très peu, l'eau du puits ne contenait plus qu'une proportion infime de l'eau de nappe et était presque entièrement constituée par l'eau du caniveau.

Ce résultat a corroboré l'opinion que M. le docteur Moreau avait de ce puits, au sujet d'un cas de fièvre typhoïde contracté par un habitant qui ne buvait pas d'autre eau. Une analyse faite à cette époque révéla bien une flore microbienne très riche et cependant la teneur en chlore et en matières organiques était plutôt bonne par comparaison avec d'autres puits réputés mauvais. Quand la résistivité électrique eut fourni l'origine de la contamination, l'explication des cas anciens de fièvre fut trouvée en même temps, car le caniveau qui laissait infiltrer l'eau en semaine, était une dérivation du ru de Mondereau et celui-ci reçoit peu avant les eaux résiduaires de l'hôpital où se trouvent très souvent en traitement des typhiques de la ville ou des environs.

La résistivité électrique avait dans ce cas fourni des renseignements plus précis que ceux donnés par l'analyse bactériologique.

Un autre cas très intéressant, est celui d'un autre puits communal situé à l'octroi de la rue de Lyon. Il est creusé dans l'intérieure de la propriété et il faut descendre dans la cave pour l'examiner; une pompe à grand balancier permet d'en tirer de l'eau sur la voie publique.

Examiné à la résistivité électrique, ce puits montra au printemps des différences profondes d'une prise à l'autre; nous l'avons suivi un certain temps en remarquant des montées et des descentes de résistivité allant de 2 650 environ à 2 400, ce qui semblait déjà extraordinaire pour l'alimentation de ce puits qui aurait du se faire par la nappe alluvionnaire dont la résistivité ne dépasse pas 1 700 au maximum. Nous avons attendu l'été où ce puits est très employé à cause de sa fraîcheur et nous avons assisté à une baisse caractéristique de la résistivité contrôlée par la teneur en chlore qui augmente.

1 ^{er} mars.	2 635 ohms	8 20 chlore
8 mars	2 462 —	8 35 —
15 mars	2 404 —	8 40 —

25 mars	2 350 ohms	8 50 chlore
7 avril	2 323 —	8 60 —
15 avril	2 404 —	8 48 —
27 avril	2 452 —	8 40 —
15 juin	2 047 —	9 12 —
20 juin	1 977 —	9 65 —

Mais c'est en juillet, qu'en sept jours, la chute de la résistivité fut la plus remarquable et nous avons trouvé :

Le samedi	2 139
Le dimanche	2 107
Le lundi	2 072
Le mardi	2 047
Le mercredi	1 927
Le jeudi	1 865
Le vendredi	1 790

Cette baisse étonnante nous fit rechercher la cause d'une érsistivité semblable à celle d'une eau de source qui tombait ensuite graduellement à celle d'une eau d'alluvions très minéralisée, avec une différence de 350 ohms.

Ayant interrogé des employés des eaux de la ville de Sens, nous apprîmes qu'il existait une sorte de puisard où l'on faisait écouler l'eau des tuyaux pour faire des chasses de nettoyage de temps à autre; l'explication était toute trouvée, l'eau était bien une eau de source et l'examen du chlore aux mêmes époques que pour la résistivité montra que les résultats coïncidaient bien, car nous trouvâmes successivement :

84 87 10 » 10 50 11 20 13 45 16 8 .

Ce second exemple de la rapidité et de la netteté de la méthode de la résistivité électrique pour la recherche du mélange de nappes est en somme aussi typique que le premier.

CHAPITRE VI

RECHERCHE

DES SUBSTANCES FLUORESCENTES

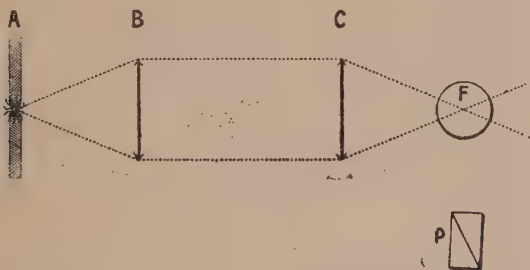
ET MESURE DE LA FLUORESCENCE

Cette question de substances fluorescentes dans les eaux naturelles était complètement ignorée il y a quelques années et ce n'est que ces dernières années qu'elles ont été étudiées par M. Dienert, chef du service de surveillance des eaux de la ville de Paris. Sa première communication à la Société chimique de France, date de 1909 et, dès cette époque, il avait reconnu l'existence de plusieurs substances différentes symptomatiques de l'origine des eaux examinées. C'est à cette époque que le laboratoire de surveillance des sources de la Vanne n'ayant aucun crédit pour commencer l'étude des eaux de leur périmètre à ce point de vue, nous avons installé l'appareil primitif du début en attendant les perfectionnements que M. Dienert y apporta par la suite et qui permettent maintenant de comparer une eau avec les étalons qu'il a établis d'une façon rapide et sûre.

L'exposition du principe de la méthode nous fera décrire cet appareil primitif et la manière de procéder à la comparaison des eaux nous permettra de présenter l'appareil actuellement employé dans les laboratoires de la ville de Paris.

Principe

Lorsqu'on fait traverser un fort pinceau lumineux à travers une eau renfermant des substances fluorescentes et qu'on observe celui-ci perpendiculairement à sa direction, on constate, sur son passage, une trainée colorée. Après passage à travers des verres bleu et rouge, le faisceau est coloré en bleu peu verdâtre ; en lumière bleue, il est vert. Si l'eau n'est pas très limpide, on met mieux en évidence ce pinceau lumineux coloré en observant son image extraordinaire à travers un prisme biréfringent.



L'appareil comprend en A un arc électrique placé au foyer d'une lentille convergente B. Les rayons parallèles partant de cette lentille sont reçus sur une deuxième lentille C, de 10 centimètres de foyer, qui concentre les rayons en F. C'est à ce point qu'on place le récipient contenant l'eau dont on veut examiner la fluorescence. Comme l'eau renferme toujours des substances en suspension qui diffusent la lumière et viennent masquer plus ou moins la fluorescence, on place en D, à 20 centièmes environ de F et perpendiculairement à la direction du rayon lumineux, un prisme biréfringent. A travers ce prisme, on voit deux images du foyer F. L'une, l'image ordinaire, est un mélange de rayons de lumière diffusée par les particules et de rayons émis par la substance fluorescente, l'autre, l'image extraordinaire, est en majeure

partie formée par les rayons fluorescents. La lumière diffusée par les particules est en majeure partie polarisée et est par conséquent, arrêtée par le prisme.

L'arc électrique A peut être remplacé par la lumière solaire. Dans ce cas, la lentille B est à supprimer.

Le récipient contenant l'eau à examiner, peut être une cuve cubique formée de glaces collées, mais en pratique, les fioles en verre blanc de 45 cc. de capacité donnent de bons résultats; il faut laisser au repos pendant douze heures, l'eau à examiner, car les bulles d'air, comme les particules en suspension, se déplaçant au milieu du liquide, masquent à peu près complètement la fluorescence.

Quand on interpose un verre violet, bleu ou rouge violacé, entre les deux lentilles B et C, on peut arriver à déceler des doses infinitésimales de colorant : c'est ainsi qu'en lumière violette, on peut reconnaître l'esculine à 1/200 000 000 de dilution, tandis qu'en lumière blanche on n'atteint que 1/50 000 000.

On a caractérisé trois substances fluorescentes :

1° Une substance fluorescente verdâtre, ayant quelque ressemblance avec la fluorescéine, rencontrée jusqu'ici dans les eaux profondes. Elle est facilement détruite par la lumière, mais résiste quand on évapore à sec l'eau qui la contient, ce qui la différencie nettement de la fluorescéine. Comme elle, elle cesse d'être fluorescente en milieu acide.

2° Une substance fluorescente, de couleur bleu verdâtre, dont la fluorescence augmente en lumière rouge violacé, est verdâtre en lumière bleue et violette. Elle se trouve dans toutes les eaux alimentées par infiltration par les eaux pluviales qui lavent le sol et dissolvent cette matière qui semble être d'origine végétale. Elle indique donc l'origine superficielle des eaux qui la renferment.

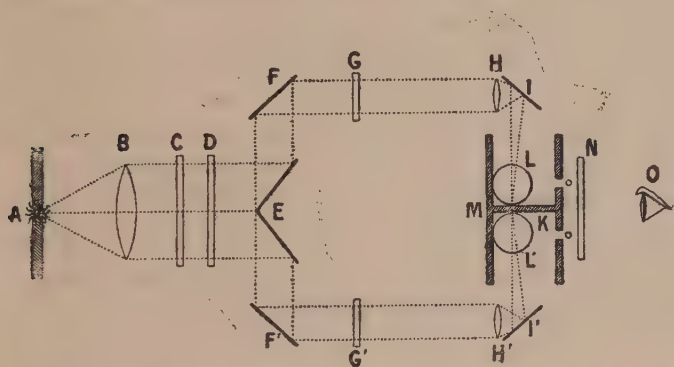
3° Une troisième substance fluorescente, un peu bleutée, très peu sensible à l'action de la lumière et aux acides, so-

luble surtout dans l'éther et qui semble provenir de l'air. On la retrouve en abondance dans les brouillards de Paris et dans toutes les eaux de pluie ou de neige.

Généralement on évapore l'eau à examiner en la réduisant de un litre à 20 cc. Après concentration on filtre sous pression sur collodion ou si l'on veut aller plus vite à travers un filtre Barzélius exempt de substances fluorescentes. Pour obtenir des eaux très claires, il est assez souvent nécessaire d'employer du talc, qu'on mélange à l'eau, et le tout est versé sur le filtre Berzélius.

Appareil de dosage

Pour doser la fluorescence des eaux, le dispositif employé dans l'appareil du début a été modifié pour permettre de comparer deux échantillons entre eux. Il est ainsi composé (1) :



Une lampe à arc à point fixe A forme le foyer de la lentille convergente B ; les rayons traversant cette dernière sont parallèles et passent à travers un verre bleu C et un verre D rouge-bleu ; ils sont reçus sur deux glaces E inclinées à angle droit. Ces deux glaces divisent le rayon lumineux en deux autres, d'égale intensité, qui viennent frapper deux glaces

(1) *Annales de chimie analytique*, 1910, page 173, F. DIENERT, *Recherches des substances fluorescentes dans les eaux*.

F et F' inclinées à 45°. Ces glaces reçoivent ces faisceaux lumineux dans une direction parallèle à celle des rayons sortant de la lentille B.

Les rayons lumineux peuvent ensuite traverser deux glaces G et G' d'épaisseur variable et rencontrer deux lentilles convergentes H et H', ayant environ 20 cc. de foyer. Grâce aux glaces I et I', inclinées à 45°, les rayons lumineux convergents viennent en L et en L'. Un écran noir K sépare ces deux faisceaux ; un autre écran M empêche l'observateur d'apercevoir la lumière diffusée par l'arc A.

En L et L' on place les flacons ou cuves contenant les eaux fluorescentes à comparer. L'œil de l'observateur placé en O à la distance de la vision normale, observe la fluorescence des deux flacons L et L' à travers deux œilletons o et o', devant lesquels on place un verre vert N. Ce dernier a pour but de rendre uniformes les teintes observées. Les différentes substances fluorescentes sont plus ou moins bleues ou vertes. Lorsqu'il s'agit de faire des comparaisons et d'arriver à l'égalité d'intensité de fluorescence, ces teintes diverses sont très gênantes ; l'interposition du verre vert permet d'uniformiser ces teintes et supprime l'indécision.

Avant de doser la fluorescence des eaux, on commence par faire une gamme de témoins au moyen d'une substance fluorescente connue. La meilleure et la moins fragile est la fluorescéine pure. La meilleure gamme est formée de dix flacons contenant respectivement 1/200 000 000, 2/200 000 000, 3/200 000 000, T. b b 10/200 000 000 de fluorescéine.

Le flacon contenant l'eau à analyser est placé en L, et l'on place successivement en L' des flacons de la gamme témoin, en commençant par les moins fluorescents ; on s'arrête lorsque le flacon de la gamme devient plus brillant que celui de l'eau à analyser. Précédemment, ce dernier semblait être plus brillant et celui de la gamme apparaissait terne. Avec un peu d'habitude, on apprécie très facilement une

légère différence de fluorescence entre les deux flacons. On note la valeur fluorescente A) du flacon de la gamme correspondant à celle du flacon examiné, puis on fait passer ce dernier en L' et c'est en L qu'on place les flacons témoins. On trouve que la valeur fluorescente du flacon de la gamme est A' dans cette deuxième opération. La valeur fluorescente de l'eau est $x = \sqrt{aa'}$ (1), comme il est facile de le démontrer. Dans un appareil bien établi, A et A' sont très rapprochés.

Cette manière de faire n'est plus employée à l'heure actuelle car, dans la pratique journalière, on a intérêt à remplacer la gamme de solution diluée de fluorescéine qui se modifie à la longue sous l'influence de la lumière, par des verres colorés d'épaisseur variable. Au début de l'application de cette méthode, on ne se servait de ces verres colorés que pour examiner des eaux plus fluorescentes que les échantillons de la gamme-étalon.

Il s'agit donc de déterminer expérimentalement la valeur fluorescente d'un verre d'épaisseur déterminée pour qu'il puisse servir d'étalon à son tour.

On opère de la manière suivante :

On place en L un échantillon d'eau le plus fluorescent et en G la glace colorée à échantillonner. En L' on change les flacons de la gamme jusqu'à obtention de l'égalité de fluorescence entre L et L' .

On a l'égalité $a m = m' b k$.

A étant la valeur représentant l'échantillon le plus fluorescent.

m étant le coefficient de l'appareil.

k étant le coefficient à trouver du verre coloré.

On fait alors passer de G en G' la glace et le flacon de L en L' et l'on opère comme précédemment en intercalant en L les flacons de la gamme jusqu'à égalité de fluorescence.

On a alors l'égalité $a m = m' b' k$.

En multipliant membre à membre les deux équations, on obtient :

$$a^2 m^2 = m^2 b b' k^2 \quad \text{ou} \quad a^2 = b b' k^2$$

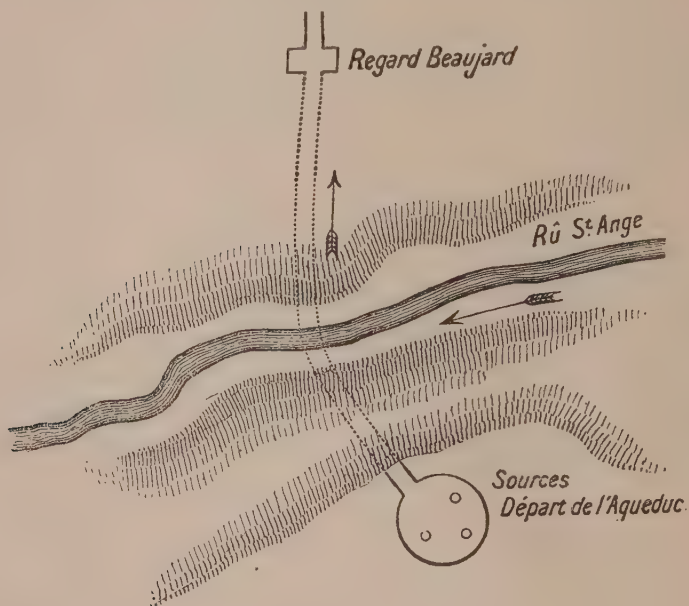
d'où l'on tire $k = a \sqrt{\frac{1}{b b'}}$

L'avantage de ces verres de fluorescence connue c'est qu'ils ne s'altèrent pas et ne changent pas de titre.

Application

L'application de cette méthode permet d'apprécier dans une eau connue des variations de compositions excessivement minimes résultant de l'infiltration plus ou moins forte de l'eau d'une autre nappe. Si cette méthode toute récente, puisque nous avons monté le deuxième appareil, avait été mise au point dès le commencement de nos recherches, nous aurions pu en donner deux exemples frappants et compléter l'étude des deux puits cités au chapitre précédent mais où des réparations ont, il y a quelques jours, fait cesser toute infiltration.

L'exemple suivant, qui date de quelques jours, montre la netteté et la sensibilité du dosage de la fluorescence.



Des sources qui alimentent la ville de Paris et en même temps la ville de Sens, situées dans la vallée de Cochebies sont réunies et descendent par la simple gravitation dans un aqueduc souterrain jusqu'à l'usine élévatoire de Maillot.

Des troubles ayant été remarqués dans cette eau qui contenait entre autres une plus grande quantité de bacille coli on fit des recherches aux sources mêmes, sans résultats.

On compara alors les résultats donnés aux sources avec ceux donnés par des prises faites à un regard situé à quelques centaines de mètres. Dans l'intervalle de ces deux points, la canalisation passe sous un ruisseau, à une profondeur de 6 mètres.

Par trois fois on constata des infiltrations du ruisseau dans l'aqueduc, comme les chiffres suivants vont nous le démontrer :

1° 11 octobre 1910	RÉSISTIVITÉ	B. COLI	MAT. FUOR.
Source. — Echantillon n° 1. .	2637	1	13 10-4
Source. — Echantillon n° 2. .	2637	1	13 10-4
Regard. — Echantillon n° 1 .	2632	5	20 10-4
Regard. — Echantillon n° 2 .	2632	20	20 10-4

Janvier 1911 : crue	RÉSISTIVITÉ	MAT. FUOR.
Source. — Echantillon n° 1. .		50 10-4
Regard. — Echantillon n° 1. .		60 10-4

13 janvier 1911	RÉSISTIVITÉ	B. COLI	MAT. FUOR.
Source. — Echantillon n° 1. .	2622	1	8 10-4
Source. — Echantillon n° 2. .	2622	1	8 10-4
Regard. — Echantillon n° 1 .	2617	4	10 10-4
Regard. — Echantillon n° 2 .	2601	10	13 10-4

Ces exemples sont concluants pour l'utilité de la mesure de la fluorescence d'une eau comme contrôle des autres méthodes de rechercher en même temps que pour sa sensibilité beaucoup plus grande.

CHAPITRE VII

ANALYSE CHIMIQUE

Nous allons exposer les procédés divers que nous avons employés pour la détermination et le dosage des éléments contenus dans les différentes eaux que nous avons examinées. L'ordre dans lequel nous avons effectué ces différents dosages pour chacun des échantillons d'eau à analyser possède une certaine importance en ce qui concerne les produits les plus altérables qui ont été dosés avant les produits fixes.

Mais rompant avec l'habitude de doser les éléments qui ne sont nullement intéressants, au point de vue pratique s'entend, nous n'avons procédé qu'aux dosages rigoureusement indispensables pour se faire une idée exacte de la valeur des eaux examinées.

Suivant ces principes, qui sont du reste appliqués par la plupart des laboratoires modernes qui se sont spécialisés dans l'étude des eaux d'alimentation, nous avons effectué les dosages dans l'ordre suivant :

Matières organiques.

Nitrates.

Nitrites.

Ammoniaque.

Chlore.

Chaux

Alcalinité.

Dosages des matières organiques

PROCÉDÉ ALBERT LÉVY (1)

Ne connaissant aucune méthode qui permette de déterminer avec exactitude le poids total de la matière organique contenue soit en suspension, soit en dissolution dans les eaux, nous nous bornons à brûler cette matière organique par le permanganate de potasse alcalin et bouillant. Nous donnons, sous le nom de matière organique, le poids d'oxygène, emprunté au permanganate, qui a servi à cette combustion.

Voici le mode opératoire :

On introduit 100 centimètres cubes d'eau dans une fiole de 150 à 200 centimètres cubes, on ajoute 10 centimètres cubes d'une solution saturée de bicarbonate de soude, 10 centimètres cubes de solution titrée de permanganate de potasse et l'on porte à l'ébullition ménagée pendant dix minutes.

On laisse refroidir, on prend la liqueur acide en ajoutant 20 centimètres cubes d'acide sulfurique dilué volume à volume, puis 10 centimètres cubes d'une solution de fer ainsi composée :

Sulfate ferreux ammoniacal	10 gr.
Acide sulfurique.	10 gr.
Eau distillée	1000 gr.

Après décoloration, on revient à la teinte rose en versant goutte à goutte la solution de permanganate de potasse.

On recommence la même opération avec 50 centimètres cubes d'eau et 5 centimètres cubes de solution saturée de bicarbonate de soude. Après ébullition, on verse 10 centimètres cubes d'acide sulfurique au demi, 10 centimètres de solution ferreuse et l'on revient à la teinte rose par l'addition de la solution de permanganate de potasse.

(1) Albert Lévy, *Analyse des eaux. Annuaire de l'observation municipale de Montsouris pour l'année 1894*, page 287.

La différence entre les deux volumes de permanganate employés dans ces deux dosages, donne la quantité de solution titrée de permanganate de potasse nécessaire pour brûler en milieu alcalin la matière organique contenue dans 50 centimètres cubes de l'eau à analyser.

Connaissant la valeur en poids de l'oxygène disponible dans un centimètre cube de notre permanganate, nous en déduisons le poids de l'oxygène emprunté au permanganate par la matière dissoute dans l'eau.

Dosage des nitrates

PROCÉDÉ GRANDVAL ET LAJOUX (1)

Réactifs A. — Solution à 80 milligrammes 26 par litre de nitrate de potassium séché à 110° , correspondant par litre à 50 milligrammes d' AzO^3H .

B. — Réactif sulfo-phéniqué. On mélange avec précaution 12 grammes de phénol cristallisé avec 144 grammes d'acide sulfurique.

C. — Ammoniaque dilué au $1/3$.

Dans deux becher-glass on évapore à siccité au bain-marie 10 centimètres cubes de l'eau à analyser et 10 cc. de la solution de nitrate de potasse. Après refroidissement, on laisse tomber dans chaque vase, 1 cc. du réactif sulfo-phéniqué, qu'à l'aide d'un petit agitateur on mélange bien exactement avec le résidu de l'évaporation. Puis on ajoute 5 cc. d'eau distillée et 10 cc. d'ammoniaque au $1/3$. Cette addition a pour but d'accentuer singulièrement la teinte jaune de l'acide picrique formé par la réaction des nitrates sur le réactif. On a ainsi deux solutions dont la teinte est proportionnelle à leur teneur en nitrate. On connaît le titre de l'une et on les compare au colorimètre de Dubosc. Quand la coloration de l'eau à essayer est faible, bien qu'appréciable, à l'œil, mais

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome CI, page 162.

non au colorimètre, on se contente de conclure à des traces plus ou moins notables. Au colorimètre, on pratique deux lectures directes et une lecture après interposition d'un verre bleu. On prend la moyenne des trois observations. Les quantités de nitrate sont inversement proportionnelles à l'écart de lecture des divisions du colorimètre. Soit le liquide témoin correspondant à une teneur de 50 milligrammes par litre d' AzO^3H , observé en cinq divisions, supposons que, l'égalité des teintes obtenues, l'index du colorimètre marque dix divisions pour l'eau à essayer, on a

$$\frac{5}{10} = \frac{x}{50} \quad \frac{\text{AzO}^3\text{H}}{1000} \quad x = 25 \text{ milligrammes}$$

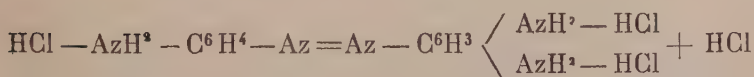
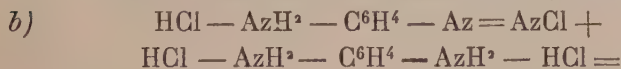
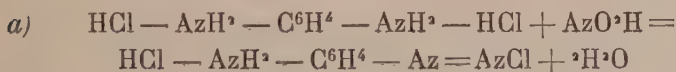
Les résultats sont exprimés en milligrammes d' AzO^3H .

Dosage des nitrites

PROCÉDÉ GRIESS (1)

Quand on mélange une solution de nitrite à titrer et une solution métaphénylènediamine, il se forme une matière colorante brune : le brun Bismarck ou Vésuvine. Son intensité comparée à celle que produit une solution de nitrite de concentration déterminée permet d'établir la quantité de nitrite contenue dans l'eau examinée.

La formation de chlorhydrate de triaminazobensol qui constitue la matière colorante est représentée par les deux équations successives suivantes :



On voit par la première de ces équations que l'acide azo-

(1) Deutsch, Chemic, Gesellsch, 1878, page 624,

teux est totalement employé à la formation de diazoïque sans laisser de résidu oxygéné susceptible de régénérer l'acide azoteux. Donc la coloration ne devra pas varier après sa formation et c'est ce qu'a démontré l'expérience.

L'occasion de doser les nitrites se présente rarement, les eaux n'en renfermant généralement que des traces. Nous verrons dans les résultats que nous en avons trouvé, au contraire, des quantités assez considérables dans certains puits.

Dosage de l'ammoniaque

PROCÉDÉ NESSLER (1)

Réactifs. — A. Réactif de Nessler. — On fait dissoudre 17 gr. 50 d'iode de potassium dans 20 cc. d'eau et on y ajoute QS. d'une solution saturée de bichlorure de mercure jusqu'à formation d'un léger précipité rouge persistant. On ajoute alors 80 gr. de potasse de caustique et on complète à 500 cc., en versant en surplus 2 cc. de la solution de bichlorure. Laisser reposer; décantier et conserver dans un flacon de verre noir à l'obscurité.

B. — Acide sulfurique continormal à 0 gr. 98 par litre. Chaque centimètre cube correspond à 0 milligramme 00034 AzH^3 .

C. — Solution de soude double continormale à 0 gr. 80 par litre. Chaque centimètre cube correspond à 0 milligramme 00098 SO^4H^2 .

Dans un ballon de verre, dont le bouchon porte un tube à dégagement relié à un réfrigérant, on introduit 1500 cc. de

(1) Nessler (Julius) Verhalten des Jodquecksilllers ru Ammoniak und eivne neue Réaction auf Ammoniak (Pharm. Cent. (2) 1529-1856). — Emploi à l'analyse de l'eau naturelle. — Chapman (Et T.) On Nessler's test for ammonia (Laboratory 1-267-1867). — Wanklyn (A) Chapman (E.t.) et Smith (H). — Water analysis : Determination of the Nitrogenous organic Matter (Journ. Chemist, Soc. 20-445-1867).

l'eau et 10 grammes de magnésie calcinée. On porte ensuite doucement à l'ébullition que l'on maintient pendant deux ou trois heures, en ayant soin de distiller très lentement. Vers la fin de l'opération, on donne un coup de feu pour balayer le réfrigérant. Le liquide condensé est recueilli dans 20 centimètres cubes d'acide sulfurique conti-normal additionné de quelques gouttes de phénol. On prépare un témoin avec les mêmes quantités d'eau bouillie, d'acide et de phtaléine. On dose ensuite avec la solution de soude en commençant par la liqueur témoin. On a ainsi, par différence des deux lectures, la quantité d'ammoniaque contenue dans 1500 cc. d'eau. On rapporte le résultat au litre.

Dosage du chlore

PROCÉDÉ MOHR (1)

Réactifs. — A. Solution de nitrate d'argent fondu à 2 gr. 9075 par litre dont chaque centilitre correspond à 1 mmgr. NaCl.

B. — Solution de chromate neutre de potasse, sans chlore à 10 0/0.

On verse dans une fiole conique 250 cc. de l'eau à examiner que l'on additionne de 3 ou 4 gouttes de la solution de chromate, puis on laisse tomber goutte à goutte la liqueur d'argent contenue dans la burette de Mohr. On s'arrête quand la teinte du liquide passe du jaune-vert au jaune franc ou orangé. Pour plus de précision, on déduit le volume de liqueur d'argent employé pour obtenir la même teinte dans une liqueur témoin contenant la même quantité de chromate de potasse dans le même volume d'eau distillé. Si l'eau est très riche en chlorures, on emploiera pour le dosage une solution d'argent à 29 gr. 075 par litre, chaque centimètre cube correspond

(1) МОНР, *Analyse du chlore dans les eaux*. Annalen der Chemie und Pharmacie. Band XXI 1856, page 335.

à un centigramme NaCL. Si l'eau est alcaline (coloration par la phtaléine) il faut saturer au préalable avec un peu d'acide acétique.

Dosage de la chaux

PROCÉDÉ DU LABORATOIRE

DU COMITÉ CONSULTATIF D'HYGIÈNE PUBLIQUE DE FRANCE (1)

On prend 250 cc. de l'eau légèrement acidulée par l'acide acétique puis additionnée d'un léger excès d'une solution d'oxalate d'ammoniaque. La chaux se précipite à l'état d'oxalate. On favorise la précipitation et le rassemblement du précipité en maintenant la liqueur quelques heures au-dessus du bain-marie, puis on filtre, on lave le précipité à 1/3 d'eau distillée chaude. On incinère et après calcination on reprend le résidu par la solution de carbonate d'ammoniaque dont on chasse tout l'excès par la chaleur. On pèse alors la chaux à l'état de carbonate. On transforme en CaO en multipliant le poids trouvé par 0,56.

Dosage de l'alcalinité

PROCÉDÉ BONJEAN (2)

Réactifs. — A. Acide sulfurique décinormal à 9 gr. 80 par litre

B. — Orangé Poirier n° 3, en solution aqueuse à 1/100.

On mesure 500 cc. d'eau et on additionne de deux à trois gouttes de solution d'orangé Poirier. Ensuite on laisse tomber goutte à goutte l'acide titré jusqu'à ce que la coloration rose commence à se manifester (changement de teinte).

Il faut essayer au préalable la sensibilité du réactif colorant en le neutralisant au besoin par une addition de quelques gouttes de soude étendue de façon qu'il vire au rose par la

(1) ZINCE et BONJEAN, page 132, Paris, Rousset 1900.

(2) J. OGIER et Ed. BONJEAN, *Traité d'hygiène II*, page 323, Baillière 1906, Paris.

moindre trace d'acide. Il faut ensuite déterminer par un essai préalable sur 500 cc. d'eau distillée, additionnée d'une quantité déterminée de réactif le volume d'acide employé pour obtenir le changement de teinte. Cette constante personnelle est à soustraire du chiffre, indiquant le volume d'acide employé.

Les résultats sont exprimés en centimètres cubes d'acide sulfurique décinormal. Il suffit de multiplier par 0 mmgr. 98 pour avoir le poids en $\text{SO}^4 \text{H}^2$.

CHAPITRE VIII

ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE

Depuis qu'il a été établi que l'insalubrité de l'eau tient, pour une grande part, aux microbes qu'elle renferme, on s'est attaché à déterminer les bactéries qui peuvent s'y rencontrer. Le nombre en est très variable suivant la provenance de l'eau et les souillures auxquelles elle a été exposée. Cette richesse microbienne en est d'ailleurs soumise à l'influence de divers facteurs.

Les pluies amènent une augmentation considérable de leur nombre, par suite du lavage des couches superficielles du sol riches en microorganismes.

Le repos favorise la pullulation des microbes, mais en même temps il se fait une sédimentation qui a pour effet de décanter et de débarrasser ainsi l'eau d'une partie des microorganismes. Selon que l'un ou l'autre de ces deux phénomènes opposés domine, on a des résultats différents.

Par contre, le mouvement entrave la multiplication des bactéries, mais aussi empêche la sédimentation. Une température basse arrête le développement des bactéries, mais pour un temps seulement; vienne une élévation de température, et immédiatement, il se fera une active multiplication.

Ce sont ces raisons qui nous ont poussé à prélever pour cinq puits deux échantillons, un en hiver, l'autre en été, de façon à pouvoir se rendre compte des différences possibles.

L'analyse bactériologique comprendra les opérations suivantes :

- 1° La numération des aérobies.
- 2° La numération des anaérobies.
- 3° La numération des moisissures.
- 4° La numération des bactéries liquéfiantes.
- 5° La numération des bactéries coli.

Précautions préliminaires

Pour prélever les échantillons destinés à l'analyse bactériologique, il faut se servir d'appareils soigneusement stérilisés au four Pasteur à 180°. Un flacon de 125 cc. suffit amplement pour la quantité d'eau à analyser.

La prise d'échantillon se fait en plongeant le flacon que l'on vient de débarrasser de son enveloppe de papier qui l'entourait à la stérilisation, dans l'eau et en débouchant ensuite. On évite ainsi les impuretés de la surface.

Les différentes manipulations doivent être faites le plus tôt possible après cette prise afin d'éviter la multiplication des germes.

Numération des germes aérobies

On se sert pour cette opération de boîtes de Roux dans lesquelles on verse à chaud une gélatine composée de

Eau distillée.	1000 gr.
NaCl.	5 gr.
Peptone	20 gr.
Gélatine	100 à 110 gr.

suivant la saison. On neutralise la liqueur avec de la soude à 4 0/0 et on clarifie à raison de un blanc d'œuf par litre. On passe ensuite à l'autoclave à 110° pendant dix minutes pour coaguler le blanc d'œuf ou filtre et on répartit dans des boîtes Roux, 80 centilitres environ. On stérilise ensuite celles-ci pendant une demi-heure à 110°.

Pour ensemençer les boîtes de Roux on fait d'abord liquéfier la gélatine puis pour chaque échantillon d'eau on prend

deux de ces boîtes dans lesquelles on verse 2 cc. avec une piquette stérilisée. On mélange doucement de manière à ne pas faire de bulles d'air et on laisse à plat dans un endroit frais pour laisser prendre la gélatine. Chaque boîte étant numérotée avec l'indication de l'eau qu'elle contient, on place dans une étuve à 20°, pendant quinze jours. Tous les deux jours on marque à l'encre sur la boîte, les colonies visibles, ce qui empêche de les compter deux fois et on note chaque fois le chiffre obtenu pour chacun des deux échantillons de chaque eau. A la fin de la quinzaine, on additionne, puis on fait la moyenne des deux boîtes; on n'aura plus qu'à multiplier par 50 pour avoir la quantité d'anaérobies pour 100 cc. d'eau.

Numération des moisissures

Cette numération se fait en même temps que la numération des bactéries vulgaires dont elles se différencient d'une façon parfaite par leur aspect rayonnant et terne.

Numération des colonies liquéfiantes

Il en est de même pour la numération de germes liquéfiantes qui se reconnaissent à ce qu'ils mangent la gélatine en la liquéfiant, on voit se former des trous dans l'épaisseur de la gélatine. Quand il y en a beaucoup au bout de peu de jours la gélatine entière peut être mangée.

Numération des anaérobies

On se sert comme milieu de culture d'une gélatine spéciale ainsi composée :

Gélatine.	50 gr. à 75
Glucose.	5 gr.
Glycérine.	5 gr.
Bouillon de bœuf peptonisé.	500 gr.

On fait fondre, on filtre, puis on stérilise après avoir ajouté du sulfo-indigotate de soude à raison de 0,2 pour 100.

On répartit en tubes stériles environ 5 cc. chaque, et on ajoute à l'un de ces tubes 1 cc. de l'eau à analyser. On mélange par agitation et l'on répartit par aspiration dans de longs tubes stériles que l'on scelle à chaque extrémité.

On fait la numération comme avec les boîtes de Roux, c'est-à-dire tous les deux jours. On ramène le chiffre trouvé à 100 cc.

Le nombre d'anaérobies trouvé dans une eau a une signification en lui-même. En effet, alors que dans les eaux pures le nombre des germes anaérobies stricts (les anaérobies facultatifs étant laissés de côté), est très réduit; au contraire, les eaux soumises aux infiltrations de matières fécales, de fumier, de purin, de substances organiques végétales ou animales en putréfaction, renferment une quantité beaucoup plus élevée de germes anaérobies.

Dans les premières, leur nombre s'élève à peine à quelques unités par centimètre cube et parfois ce chiffre peut être nul. Dans les eaux contaminées, au contraire, l'ensemencement donne 5, 10, 20, 50, par centimètre cube.

De là la valeur de **l'indice anaérobique**.

On appelle indice anaérobique, le rapport qui existe entre le nombre d'anaérobies et celui des aérobies.

Ce rapport devient de plus en plus mauvais quand il tend à être égal à l'unité.

Numération du bacille coli

On le cultive dans un milieu composé de

Peptone Byla	40 gr.
NaCl	10 gr.
Eau distillée	1000 gr.

On neutralise ensuite par 1 cc. de soude caustique à 40 0/0. On ajoute enfin 2 gr. 40 d'acide phénique. On stérilise 10 minutes à 100°.

(1) H. VINCENT, *Annales de l'Institut Pasteur*, Tome XIX, page 233.

On ensemente en pesant 100 gr. de ce bouillon et 100 gr. de l'eau à analyser et on mélange par agitation.

On répartit ensuite dans des tubes dans lesquels on met respectivement :

2 tubes avec	50 cc.
1 tube avec.	40 cc.
1 tube avec.	20 cc.
1 tube avec.	10 cc.
1 tube avec.	5 cc.
1 tube avec.	2 cc.
1 tube avec.	1 cc.

Les tubes ainsi remplis sont placés dans une étuve à 42° et au bout de 48 heures on fait sur chacun d'eux la réaction de l'indol. Celle-ci consiste à ajouter dans le tube une solution de nitrite de soude à 20/00 et quelques gouttes également d'acide sulfurique concentré. On porte à l'ébullition et s'il y a de l'indol ou voit apparaître une coloration rougeâtre. Pratiquement, nous avons remplacé l'acide azoteux produit par l'acide sulfurique et le nitrite, par l'acide sulfurique du commerce seul qui en contient toujours comme impurité.

Si la réaction marche pour le tube contenant 50 cc. seul, nous pouvons dire qu'il y a un germe par 25 cc. d'eau.

Si nous en trouvons dans le tube de 10 cc. et au-dessus, mais pas en dessous, nous pouvons également dire que l'eau contient un germe par 5 cc.

Il n'y a que lorsqu'on trouve de l'indol dans le tube de 1 cc. que l'on ne peut plus compter exactement le nombre de germes et que l'on peut cependant prétendre qu'il y en a au moins 200 par 100 cc. d'eau.

Cette méthode excessivement rapide et pratique permet de compter les germes au bout de quarante-huit heures. Elle a été mise au point dans les laboratoires de surveillance des eaux de la ville de Paris et les laboratoires de Montsouris, avec M. Micquel, l'emploient journellement.

Le docteur Albert Gautier (1), ajoute simplement du bouillon phéniqué à 100 cc. de l'eau puis après mise à l'étuve dès l'apparition du trouble fait une première séparation et un ensemencement et après un nouveau trouble une séparation et ensemencement.

C'est sur un échantillon double ou triple qu'il fait porter l'analyse : en voici la raison. Comme il est très certain que dans un volume d'eau déterminé, les coli bacilles ne sont pas uniformément répartis, si on constate par exemple que ces germes existent dans un matras renfermant 20 cc. d'eau cela ne suffit pas à établir la teneur de cette eau bacille coli. Il peut très bien arriver que dix autres centimètres cubes du même liquide ne les renferme pas. Mais si dans les deux matras contenant le même volume, on constate un trouble produit par ce microbe, on a de ce fait, non la certitude absolue, du moins une probabilité très grande de connaître la teneur exacte en bacilles coli.

Cette méthode si rigoureuse qu'elle soit, est trop compliquée et surtout trop longue dans un laboratoire où passent à l'analyse un nombre considérable d'échantillons.

Avec la méthode que nous avons employée, la numération se fait avec une précision suffisante et surtout avec une très grande rapidité.

La numération des bacilles coli est capitale parce que le nombre de ceux-ci contenus dans une eau est en rapport avec le degré de souillure de cette eau.

En effet, dans la terre il y a très peu de bacilles coli et pas de microbes satellites; dans les déjections humaines, au contraire, il y a beaucoup de microbes satellites et une grande quantité de bacilles coli. Dans une eau contenant beaucoup d'anaérobies et qui par là même devient douteuse, la numé-

(1) H. VINCENT, *Annales de l'Institut Pasteur*, Tome XIX, page 235.

ration des bacilles coli tranchera la question dans un sens ou dans l'autre.

La valeur du bacille coli s'affirme tout particulièrement dans les eaux à composition microbienne très instable, tantôt pures, tantôt contaminées. Mais le témoignage fourni par la présence du bacille coli et par son degré plus ou moins grand d'abondance, est surtout précieuse pour les eaux d'apparence peu souillées, contenant un très petit nombre d'autres bactéries.

D'un autre côté, il ne faudrait pas se baser sur une analyse d'eau venant d'un réservoir où la multiplication très rapide se fait artificiellement par la chaleur ou d'autres causes, car on a vu des cas où de l'eau préalablement stérilisée, mais mal préservée ensuite, contenait plus de germes au bout de quelques jours que l'eau primitive.

CHAPITRE IX

TABLEAUX

DES

ANALYSES CHIMIQUES

N ^{os}	DÉSIGNATIONS	Résistivité électrique en ohms	EN MILLIGRAMMES PAR LITRE						Alcalinité
			Chlorures	Matières organiq.	Nitrates	Nitrites	Az H ³	Ca O	
1	Octroi, rue de Lyon	2452	10.5	1.2	22	0	0	148	205
2	Ballastière	2384	13.8	0.65	16	0	0	93	132
3	Coquesalles	2089	9.6	0.60	13	0	0	75	106
4	Rue du Tau (pompe communale)	1890	47.6	0.70	18	traces	traces	87	128
5	Halte Saint-Savinien	1630	44.8	0.45	23	0.815	taaces	78	104
6	27, rue d'Alsace-Lorraine	1980	19.6	0.70	26	0	0	72	98
7	Puits-de-la-Chaine (octroi)	1760	23.4	0.90	34	0.023	traces	95	135
8	Cour commune, 20 rue, de la République	1360	47.6	1.10	35	0.034	0.005	203	235
9	11, rue de Lyon	980	217.7	2.45	197	0.062	0	218	265
10	Morel (tannerie)	1530	23.9	0.3	26	traces	0	101	120
11	5 bis, rue Cassin	1530	32.9	0.9	26	traces	0	195	230
12	79, rue Allix	924	21.50	0.50	25	0.015	0	169	206
13	Rue de l'Île-d'Yonne (pompe communale)	1254	109	1.20	62	0.036	0.023	148	188

N ^{os}	DÉSIGNATIONS	Résistivité électro-que en ohms	Fluorescence	EN MILLIGRAMMES PAR LITRE							Alcalinité
				Chlorures	Matières organiq.	Nitrates	Nitrites	Az H	Ca O		
14	15, rue Chambertrand	1356	1	32.6	0.85	34	traces	traces	119	148	
15	20, rue de la Pépinière	830	1	18.2	1.3	21	0	0	147	174	
16	Rue Lepelletier-Saint-Fargeau (puits communal)	759	2	82.6	1.15	65	0.038	0	130	156	
17	27, rue Victor-Guichard	757	1.5	51.1	0.60	24	traces	0	121	156	
18	Jardin du Vélo-Sport	1226	9/10 ^c	18.2	0.70	18	0	0	175	203	
19	Rue Bellocier	1970	1.4	16.8	0.50	20	traces	0	190	238	
20	Saint-Paul	1962	5	16.4	0.85	33	0.013	0.015	246	308	
21	40, rue Carnot	1007	3	35.7	0.6	42	0.009	traces	187	232	
22	Rue du Palais-de-Justice (puits communal)	609	8	96.6	3.9	95	0.048	0.035	313	376	
23	Source Coquesalles	2064	7/10 ^c	10.5	0.7	18	0	0	162	183	
24	Garde-barrière Saint-Martin	1586	6	41.2	1.2	66	traces	traces	199	247	
25	7, rue des Capucins	1131	2	31.4	0.7	22	0	0	174	218	
26	85, rue de la République	473	7	52.5	1.7	60	0.034	0.012	242	294	

N ^{os}	DÉSIGNATIONS	Résistivité électrique en ohms	Fluorescence	EN MILLIGRAMMES PAR LITRE						Alcalinité
				Chlorures	Matières organiq.	Nitrates	Nitrites	Az H ³	Ca O	
27	208, Grande-Rue	1600	1	10.5	1.1	15	0	0	133	175
28	36, rue Thénard (pompe communale)	1145	1.5	24.3	0.80	30	traces	0	113	156
29	63, rue Thénard (pompe communale)	1425	2.5	185	1	40	0.002	traces	159	193
30	200, Alsace-Lorraine (pompe communale)	1277	4	35.5	1	32	traces	traces	91	114
31	23, rue des Capucins	1118	2.5	33.8	1.4	24	0	0	118	134
32	Fonderie, Chemin-Neuf	1920	3	28.7	1.2	21	traces	0	141	178
33	83, Grande-Rue	820	14	124.6	2.80	148	0.055	0.628	238	288
34	Rue de l'Ecrivain, 14	1160	8	76.4	1.65	94	0.040	traces	203	239
35 (6 bis)	27, rue d'Alsace-Lorraine (pompe communale)	2040	5	28.2	0.80	22	traces	0	77	107
36 (7 bis)	Rue du Puits-de-la-Chabne (pétrole, pompe communale)	1810	4.5	30.6	1.15	24	traces	0	101	128
37 (8 bis)	Cour commune, 20, rue de la République	1280	1.5	63.9	1.60	34	0.012	traces	192	212
38 (9 bis)	11, rue de Lyon	1150	6	195.6	1.85	133	0.035	traces	226	275
39 (10 b.)	Tannerie Morel	1730	6/10 ^e	28.4	0.45	27	traces	0	109	134

HIVER

CHAPITRE X

TABLEAUX

DES

ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES

N ^{os}	RIVE	DATE	NOMS ET DÉSIGNATIONS	PAR CENTIMÈTRES CUBES					COLI par 100 ^{cc}
				Aérobies	Anaérobies	Liquifiants	Moissures	Indice anaérotique	
1	D	5 mai 1910	Octroi, rue de Lyon	785	52	300	0	0,0662	0
2	D	id.	Ballastière	2293	630	394	10	0,2750	40
3	D	id.	Coquesalles	3304	10	0	0	0,0030	0
4	D	id.	Rue du Tau (pompe communale)	492	43	59	0	0,0873	4
5	D	id.	Halte Saint-Savinien	428	55	98	10	0,1285	0
6	D	27 juil. 1909	27, rue d'Alsace-Lorraine	1800	100	450	0	0,0555	2
7	D	id.	Puits-de-la-Chaine, octroi	500	30	0	100	0,0600	4
8	D	id.	Cour commune, 20, rue de la République	1500	390	600	50	0,2600	20
9	D	id.	11, rue de Lyon	267 620	38 600	1250	39	0,1442	200

N ^{os}	RIVE	DATE	NOMS ET DÉSIGNATIONS	PAR CENTIMÈTRES CUBES					COLI par 100 ^{cc}
				Aérobies	Anaérobies	Licquifiants	Moississures	Indice anaérobique	
10	D	id.	Morel (Tannerie)	100	40	0	0	0,400	20
11	D	id.	N ^o 5 bis, rue Cassin	675	100	700	67	0,1483	0
12	D	1 ^{er} mars 1910	79, rue Allix	2080	15	340	15	0,0072	10
13	G	1 ^{er} mars	Rue de l'Île-d'Yonne (Pompe communale)	3960	12	760	40	0,0020	10
14	D	id.	15, rue Champbertrand	3540	17	10	160	0,0048	2
15	D	id.	20, rue de la Pépinière	630	34	50	20	0,0539	0
16	G	id.	Rue Lepalleteur-Saint-Fargau (Puits communal)	12460	120	160	10	0,0096	20
17	D	id.	27, rue victor-Guichard	1798	17	60	50	0,0094	0
18	G	17 juin	Jardin du Vélo-Sport	1720	10	120	150	0,0058	0

Nos	RIVE	DATE	NOMS ET DÉSIGNATIONS	PAR CENTIMÈTRES CUBES					COLI par 100 ^{cc}
				Aérobies	Anaérobies	Liquifiants	Moississures	Indice anaérobique	
19	G	17 juin	Rue Bellocier	400	5	30	70	0,0125	4
20	D	id.	Saint-Paul	420	5	10	20	0,0119	20
21	D	id.	40, rue Carnot	2990	20	70	10	0,0066	0
22	D	id.	Rue du Palais-de-Justice (Puits communal)	1510	2300	600	250	1,5170	180
23	D	id.	Source Coquesalles	190	190	170	30	0,8947	2
24	G	20 septemb.	Garde-barrière Saint-Martin	1580	1580	15	360	0,0094	200
25	D	id.	7, rue des Capucins	720	720	12	80	0,0166	2
26	D	id.	85, rue de la République	3660	3660	16	30	0,0043	0
27	D	id.	208, Grande-Rue	180	180	10	20	0,0555	0

N ^{os}	RIVE	DATE	NOMS ET DÉSIGNATIONS	PAR CENTIMÈTRES CUBES					COLI par 100 ^{cc}
				Aérobies	Anaérobies	Liquifiants	Moississures	Indice anaérobique	
28	D	20 septemb.	36, rue Thénard (Pompe communale)	120	10	130	130	0,4062	0
29	D	20 septemb.	63, rue Thénard (Pompe communale)	180	12	10	10	0,0666	0
30	D	22 octobre	200, Alsace-Lorraine (Pompe communale)	800	14	20	20	0,0175	40
31	D	22 octobre	23, rue des Capucins	760	160	30	30	0,2105	4
32	G	22 octobre	Fonderie, Chemin-Neuf	2360	38	310	20	0,0161	2
33	D	22 octobre	Grande-Rue, 83	31400	360	780	350	0,0114	200
34	D	22 octobre	Rue de l'Ecrivain, 14	12 300	1650	230	40	0,1341	200

N ^{os}	RIVE	DATE	NOMS ET DÉSIGNATIONS	PAR CENTIMÈTRES CUBES					COLI par 100 ^{cc}
				Aérobies	Anaérobies	Liquifiants	Moississures	Indice anaérobique	
35 (6 bis)	D	17 novemb.	Rue d'Alsace-Lorraine (Pompe communale)	1250	170	40	10	0,1360	10
36 (7 bis)	D	17 novemb.	Rue du Puits-de-la-Chaine (Octroi, pompe communale)	650	16	180	30	0,0246	4
37 (8 bis)	D	17 novemb.	Cour commune (20, rue de la République)	2300	180	860	40	0,0782	20
38 (9 bis)	D	17 novemb.	11, rue de Lyon	148 700	4500	940	80	0,0302	200
39 (10 bis)	D	17 novemb.	Tannerie Morel	120	46	0	0	0,3833	40

CHAPITRE XI

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Des trente-quatre échantillons qui ont été choisis pour ce travail, nous allons étudier d'abord ceux qui correspondent à un puits public. Les échantillons 1, 4, 6, 7, 13, 16, 22, 27, 28, 29, 30, appartiennent à des puits couverts avec pompe à balancier. Ils sont les derniers vestiges des nombreux puits en exercice il y a trente ans et vont nous indiquer à peu près, la qualité de l'eau dont nos pères se servaient.

L'analyse chimique, au point de vue du chlore les classe : comme bons, 1, 27, moins de 20 milligrammes; comme passables, 6, 7, 28, de 20 à 40 milligrammes; comme mauvais, 4, 13, 22, 29, 30, plus de 50 milligrammes.

Les résultats des nitrites les classe ainsi : comme bons, 1, 4, 6, 27, 28, 30, néant ou traces; comme médiocres, 29, jusqu'à 0 030 milligrammes; comme mauvais, 7, 13, 22, au-dessus de 0 030 milligrammes.

L'ammoniaque nous renseigne définitivement et nous trouvons comme bons 1, 6, 27, 28, néant; comme médiocre, 4, 7, 29, 30 traces; comme franchement mauvais 13, 22 dosable.

En général sont bons les puits 1, 6, 27, 28; médiocres 4, 7; mauvais 13, 22, 29, 30.

Regardons un peu si ce résultat au point de vue chimique est corroboré par le renseignement bactériologique.

1, 27, 28 sont bons, pas de coli par 100 cc.; 4, 7, sont à

peine passables, jusqu'à 10 coli; 22, 30 mauvais, plus de 20 coli. Correspondent exactement.

Sont toutefois meilleurs au point de vue bactériologique que chimique les puits 6, 13, 29.

Nous ne nous basons ici, au point de vue bactériologique, que sur la quantité de coli, parce que c'est l'exemple le plus frappant, mais qui est en concordance complète avec les résultats de numération des aérobie et des anaérobies.

Si nous compulsions maintenant les résultats relatifs aux puits particuliers, nous pouvons constater de même la concordance des indications chimique et bactériologique.

Par le chlore, nous pouvons faire le classement suivant : bons, 3, 15, 18, 19, 20; passables 10, 11, 12, 14, 21, 25, 31, 32; mauvais 5, 8, 9, 16, 17, 24, 26, 33, 34.

Avec les nitrites nous obtenons la classification suivante: bons, 3, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 24, 25, 31, 32; passables, 5, 12, 20, 21; mauvais 8, 9, 16, 26, 33, 34.

Enfin en ne considérant que l'ammoniaque, nous regardons comme bons, 3, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 31, 32; passables 5, 14, 21, 24, 34; mauvais 8, 20, 26, 33.

Peuvent donc, au point de vue chimique, seuls être considérés comme bons, 3, 10, 11, 15, 18, 19, 25, 31, 32; douteux 12, 14, 17, 21; mauvais 5, 8, 9, 16, 20, 24, 26, 33, 34.

Si nous regardons maintenant les résultats bactériologiques de ces mêmes puits, nous constatons que la majorité des conclusions concorde; seuls les puits 5 et 26 mauvais au point de vue chimique, sont bons comme flore microbienne, ainsi que les puits 14, 17 et 21 qui étaient chimiquement douteux. Par contre, le puits 10 bon chimiquement, s'il contient peu de bactéries est cependant mauvais comme bacille coli, ce qui indique une pollution, par infiltration superficielle, très restreinte comme quantité.

Il nous reste à étudier les résultats des n^{os} 2 et 23 qui ne sont pas des puits; nous avons fait la prise du 2 à la sortie des

eaux de la Ballastière où de nombreuses sources, malheureusement diffuses aujourd'hui, donnent un débit variant de 100 à 150 litres à la seconde. Le 23, au contraire, provient d'une source unique situé dans la vallée de la Vanne, sur le territoire de Sens.

Nous avons par ces deux échantillons, le moyen de nous rendre compte de la valeur de l'eau qui forme sous la ville la nappe d'alimentation des puits.

Le plus en amont, le 23, contient un certain nombre de bactéries vulgaires, mais très peu d'anaérobies, pas de liquéfiant, pas de moisissures, ni de coli. L'analyse chimique confirme cette bonne qualité, la teneur en chlorures et en matières organiques est très faible et nous n'avons trouvé ni nitrites ni ammoniacque.

Nous pouvons considérer cette eau comme type de la nappe alluvionnaire d'où elle émerge et qui correspond bien à sa résistivité électrique égale à 2 004.

Avec le 2 au contraire, on a manifestement un mélange puisque sa résistivité est égale à 2 384. Sa teneur en chlorures est plus forte pendant que la matière organique est plus faible.

L'eau de Seine

Cette eau qui est chimiquement bonne puisqu'elle ne contient pas de nitrites ni d'ammoniacque, renferme une forte proportion d'anaérobies et de bacilles coli; elle est donc polluée par des infiltrations et ces infiltrations doivent être assez abondantes puisqu'elles permettent à la résistivité électrique de l'eau de passer de 2 050 à 2 380. Cet apport d'eau dans la nappe alluvionnaire qui nous est ainsi révélé par l'examen des résultats, nous conduit à nous occuper de son origine et à étudier les autres nappes d'eau que celles qui se trouvent dans les vallées de l'Yonne et de la Vanne sur le territoire de la commune de Sens; mais au sujet de l'origine de l'eau

des puits, l'opinion d'une grande partie des habitants est si unanime et en même temps si bizarre, que nous avons cru nécessaire de la vérifier et d'en expliquer la possibilité : l'eau de la Seine qui passe à Troyes, à 65 kilomètres de Sens, viendrait par infiltration constituer une nappe puissante dans le sous-sol sénonais. Pour expliquer leur croyance, ils s'appuient sur un phénomène qui se reproduit assez souvent et qui consiste en une montée rapide du niveau de l'eau dans les puits, et même dans quelques caves, surtout dans la partie nord de Sens; or, à leur avis, rien n'explique directement autour de Sens ce phénomène dont la cause reste inconnue.

Cette question ainsi posée a été étudiée par M. Aurélien Valette qui a fait paraître, sur ce sujet, une note destinée à la Société archéologique de Sens. Après avoir exposé l'orographie des massifs montagneux qui séparent la vallée de la Seine de la vallée de l'Yonne, il indique la direction des vallées principales et secondaires qui les sillonnent; l'auteur en déduit que si tous les cours d'eau sauf une exception viennent de la forêt d'Othe et se jettent dans la Vanne, ce fait tient à l'inclinaison des assises de la craie sénonienne qui ont une pente sud-est nord-ouest assez prononcée. Ainsi, avec cette seule explication géologique, M. Valette considérant que ces assises de la craie sont coupées à pic du côté de la vallée de la Seine tandis qu'au contraire elles viennent en pente douce du côté de Sens, conclut ainsi : « Il est impossible que les eaux de certaines sources viennent par des conduites souterraines d'une région limitrophe de la Seine. » Il revient plus loin sur cette idée, et il explique que l'eau tombant sur le petit versant de Seine peut s'infiltrer dans le sol, puis, par l'inclinaison déjà décrite, prendre la direction de Sens. Enfin, l'auteur, au sujet de la ferme de Noslon, près Sens, dont l'eau semble avoir une origine spéciale, penche vers la solution qui lui paraissait encore douteuse auparavant et ne voit pas d'autre explication du phénomène.

Cette note qui traite le point de vue géologique seul, contient une exactitude qui influe sur le raisonnement qui en découle : un seul affluent, sur la droite de la Vanne, a été cité, tandis qu'ils sont deux à couler en sens inverse de l'inclinaison des couches de la craie (1); cette connaissance de sources assez puissantes, en dehors du versant prévu nous conduit à examiner le fonctionnement des différentes nappes qui circulent dans la craie.

Les nappes souterraines

On en distingue trois bien caractérisées:

1° Nappe de la forêt d'Othe.

Ses eaux ont une résistivité électrique variant de 2 700 à 2 900 ohms dans les puits à courant (la Guimand, Hurpeaux, Bœurs-en-Othe à Armentières principal, Miroir, Noé, etc.). Il semble que ces eaux caractérisent la partie la plus élevée du massif. On les retrouve indistinctement, soit sur le versant nord, soit sur le versant sud (Chailley, Sormery, Vaudevanes, Haut-Perh, Linant, etc.)

Mais en raison de ce que les nappes géologiques sont relevées vers le sud-est et plongent vers le nord-ouest, l'orientation du grand versant a lieu au nord de la forêt et il est probable que la plus grande partie de la nappe s'écoule vers la Vanne. On remarque que les sources du sud de la forêt sont de 10 à 15 mètres supérieures à celles qui leur correspondent au sud de la forêt et ce fait s'explique par le travail d'érosion qui est plus avancé sur le grand versant du côté nord.

La circulation de ces eaux se fait en de longues et grosses diaclases, mais ces diaclases en se formant ont provoqué des éboulements par place et les effondrements ainsi produits permettent aux eaux de ruissellement dans les ravins sous

(1) Ce sont le Bétro et l'Alain,

lesquels passe la diacalse de venir contaminer l'eau de celle-ci et de la rendre trouble en cas d'orage,

2° Nappes locales.

Petites sources de 1 à 10 litres, dépassant rarement 20 litres à la seconde. Résistivité allant de 2 300 à 2 400 ohms.

Elles alimentent les sources de Bouillant, Bouillarde, Gerbeau, Enclos-d'Armentières et les puits de Pierrefite et de Berluviens. Elles circulent lentement dans de petites fissures de la craie remaniée et de la couche sousjacent. Aussi elles sont mieux épurées que la nappe de la forêt d'Othe.

Certaines sources comme Cerilly, Armentières, Aval, Berulles renferment un mélange des deux nappes précédentes. Les proportions de celles-ci qui entrent dans la composition varient avec chacune des sources et dépend de la saison et du régime des pluies tombées.

3° Nappes alluvionnaires.

Dans les alluvions calcaires, sableuses et caillouteuses qui bordent la rivière de la Vanne ou le thalweg des vallées secondaires on rencontre des eaux encore plus minéralisées que les précédentes et dont la résistivité est de 2 100 environ. On les retrouve dans le drain de Flacy, le drain de la Bouillarde, la source Saint-Martin à Rigny-le-Ferron en saison humide, et la source du canal de décharge d'Armentières. Cette eau est généralement très bien filtrée.

Or, pour la question que nous étudions, nous remarquons que la nappe de la forêt d'Othe donne des sources tout autour du massif et que celles qui sont au sud, c'est-à-dire au sommet des couches crayeuses, peuvent être considérées comme des fuites de nappe car elles s'écoulent en sens inverse de la pente naturelle géologique de celle-ci.

L'hypothèse d'un apport d'eau venant d'une vallée supérieure à celle de la Vanne ou de l'Yonne en suivant la pente générale de la craie sénonienne se trouve donc infirmée, parce que s'il existe une diacalse traversant le massif, elle dé-

verse au contraire l'eau de ce massif dans chaque vallée. Comme d'autre part, les nappes locales ne sont que des eaux peu profondes elles ne peuvent venir que des collines et plateaux les plus rapprochés; elles ne circulent que dans de petites diaclases à trajet assez court et limité à un seul versant.

Du reste, même en s'appuyant uniquement sur l'orographie de la forêt d'Othe, nous sommes amenés à reconnaître trois sortes de cours d'eau suivant qu'ils sont subjacents, conjacents ou objacents. Sont subjacents, ceux qui chevauchent sur le faite des assises de la craie sans y pénétrer et en coupant leur ligne d'affleurement plus ou moins perpendiculairement.

Les ruisseaux conjacents sont ceux qui suivent la pente générale des assises.

Enfin les ruisseaux objacents circulent en sens inverse des conjacents, c'est-à-dire suivant une pente contraire à celle des assises de la craie.

Or, les uns et les autres existent et la théorie que l'on pourrait édifier sur la présence d'une seule sorte, se trouve ainsi réduite à néant.

Il nous faut pour toutes ces raisons, rechercher la cause des perturbations de la nappe d'eau alimentant les puits de Sens en dehors des théories que nous venons d'exposer.

Il nous paraît plus simple de résoudre ce problème en étudiant le régime de la nappe alluvionnaire, régime que nous pouvons suivre d'une façon parfaite en étudiant l'eau de la Ballastière qui n'en est que le trop plein.

La nappe alluvionnaire est alimentée de deux façons que nous allons mettre en évidence d'une manière précise par la résistivité électrique. L'alimentation normale par l'infiltration lente des eaux de surface donne la résistivité habituelle de 2 100 environ. Mais quand la Vanne déborde et inonde les prés, l'infiltration devient anormale et la résistivité monte à 2 400. Nous avons prouvé cette origine au moment de l'ir-

rigation des prés au commencement de l'été et nous avons noté qu'en plus d'une élévation du niveau de l'eau variant de 1^m 50 à 1^m 80 la résistivité montait de 2 085 à 2 375, rue de la Pépinière, par exemple.

Après des pluies persistantes et assez fortes, le même phénomène se produit mais causé non seulement par le débordement de la Vanne dans les prés, mais aussi par l'augmentation considérable de débit des nappes locales dont la résistivité est de 2400 ohms environ, augmentation qui élève la pression de l'eau au point de faire paraître des sources à travers champs et à flancs de coteau dans des endroits réputés secs.

C'est la seule explication qui nous paraisse la plus naturelle et la plus rationnelle à la fois.

Résultats d'hiver et d'été

Il nous reste encore à comparer les prises d'été avec celles des mêmes points en hiver.

L'expérience a porté sur cinq puits seulement qui portent les numéros 6, 7, 8, 9, 10. Nous ne remarquons rien de spécial : certains chlores augmentent d'autres diminuent, les nitrites et l'ammoniaque diminuent en général. Les microbes vulgaires diminuent ainsi que les anaérobies tandis que les coli sont en hausse.

Ces constatations sont normales et il n'y a pas de conclusions nouvelles à en tirer.

CHAPITRE XII

RÉSUMÉ

Nous avons évoqué, par la courte étude sur l'eau potable à Sens, dans les siècles passés, la magistrale solution que les Romains avaient donné à cette question par la construction d'un aqueduc de 16 kilomètres, amenant l'eau pure à profusion. Depuis sa destruction au moyen-âge, la population s'est procurée de l'eau de diverses manières, plus primitives et surtout plus dangereuses au point de vue sanitaire.

Aujourd'hui, à côté de l'alimentation en eau de source surveillée journellement et scientifiquement par la ville de Paris, qui en garantit la pureté, nous avons trouvé en plein fonctionnement une quantité considérable de puits.

Après avoir étudié le terrain dans lequel ces puits sont forés et l'assise crayeuse qui assure la formation des nappes souterraines, nous avons eu la pensée de limiter nos recherches à un petit nombre de puits dont l'eau, dans un essai préliminaire, nous avait paru potable. Mais devant la mauvaise qualité évidente d'une partie des puits de la ville, nous avons dû nous contenter d'étudier l'eau des puits communaux et accessoirement celle des puits particuliers situés dans les endroits où les premiers faisaient défaut.

A l'origine de ce travail, sans nous baser sur les travaux analogues déjà parus, nous avons été amené à employer en dehors des méthodes chimiques et bactériologiques courantes, deux méthodes physiques appelées à prendre une grande importance dans l'avenir.

La **Résistivité**, quoique appliquée de fraîche date, avait déjà montré toute l'ampleur des résultats qu'on en pouvait attendre; et nous avons pu consigner ici plusieurs exemples typiques de son emploi dans des recherches de grande précision.

La partie de ce travail consacré à la **Fluorescence** naturelle des eaux est celle dont les recherches nous ont le plus captivé car nous avons eu la chance de pouvoir collaborer d'une manière effective avec les premiers expérimentateurs de cette méthode pleine d'avenir.

Au point de vue chimique, nous avons appliqué les procédés qui nous ont paru les plus clairs et les plus rapides.

Pour l'examen bactériologique, après la numération des germes aérobies des moisissures, des colonies liquéfiantes et des anaérobies, nous avons cherché à déterminer le nombre de bacilles coli contenus dans l'eau, en appliquant les méthodes de Albert Gauthier et de Micquel, seuls procédés permettant d'apprécier les dangers de contamination de l'eau par les matières fécales quelle qu'en soit l'origine.

Enfin, en nous appuyant sur l'étude des divers modes de circulation souterraine de l'eau dans le massif de la forêt d'Othe, nous avons pu réfuter la vieille légende de l'eau de Seine venant alimenter les puits de Sens.

L. BAILLY-SALIN

Vu, bon à imprimer,
Paris, le 12 janvier 1912,

L. GRIMBERT,

Vu, le Directeur de l'Ecole,
GAUTIER,

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
LIARD.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction	1
I. — L'Eau potable dans la ville à travers les siècles	9
1. — L'Aqueduc romain.	9
2. — Distribution de l'eau	
3. — Ru de Mondereau	16
4. — Eau de rivière	18
II. — Géologie de Sens et des environs	19
III. — Eau de source	25
IV. — Eau de puits	31
1. — Reconnaissance préalable des puits	32
V. — Résistivité électrique	34
VI. — Recherche des substances fluorescentes et mesure de la fluorescence	44
1. — Principe	44
2. — Appareils de dosage	47
3. — Applications	50
VII. — Analyse chimique.	52
1. — Dosage des matières organiques	53
2. — Dosage des nitrates.	54
3. — Dosage des nitrites	55
4. — Dosage de l'ammoniaque	56
5. — Dosage du chlore	57
6. — Dosage de la chaux.	58
7. — Dosage de l'alcalinité	58
VIII. — Analyse bactériologique	60
1. — Précautions préliminaires	61
2. — Numération des germes aérobies	61
3. — Numération des moisissures	62
4. — Numération des colonies liquéfiantes.	62
5. — Numération des germes anaérobies	62
6. — Indice anaérobique.	63
7. — Numération du bacille coli.	63
IX. — Tableaux des analyses chimiques	67

	Pages
X. — Tableaux des analyses bactériologiques	71
XI. — Discussion des résultats	77
1. — L'eau de Seine.	79
2. — Les nappes souterraines	81
3. — Résultats comparatifs d'hiver et d'été	84
XII. — Résumé.	85

Figures dans le texte

Appareil Kohleansch.	36
Premier appareil de recherche des fluorescences	45
Appareil pour doser la fluorescence	47
Expérience du ru Saint-Ange	50

Cartes

Carte des puits de Sens reconnus et analysés	
Carte de l'ancien aqueduc romain	

LÉGENDE

- 1 Hôtel de ville ancien et Bibliothèque
- 2 Musée
- 3 Église St Pierre
- 4 École communale de filles
- 5 Marché couvert
- 6 Cathédrale St Etienne
- 7 Salle synodale
- 8 Palais archiepiscopal
- 9 Grand séminaire
- 10 Lycée
- 11 École communale de garçons
- 12 Sous-préfecture
- 13 Hôtel de ville actuel
- 14 Théâtre
- 15 Entrepôt
- 16 École maternelle
- 17 Palais de justice
- 18 Gendarmerie
- 19 Maison d'arrêt
- 20 Abattoir municipal
- 21 Usine à gaz
- 22 Quai de l'abattoir
- 23 Grand pont d'Yonne
- 24 Église St Maurice
- 25 Église St Didier
- 26 Église Notre-Dame
- 27 Église St Piegts
- 28 Place de la République
- 29 Place Victor Hugo
- 30 Place Drappès et statue du Baron Chénard
- 31 Rond-point de la demi-lune
- 32 Rond-point Notre-Dame
- 33 Place de l'abbé Grégoire
- 34 Hospices
- 35 Place Champbertrand
- 36 Place du Eau
- 37 Marché aux porcs
- 38 Caves et Cellier
- 39 Quai du Palais de justice
- 40 Quai de l'Entrepôt
- 41 Pont au Diable
- 42 Caisse d'épargne
- 43 Banque de France nouvel

PLAN DE SENS

1911



Rive droite
D-

Rive gauche
G-

Echelle: 1/10,000
1 cent pour 100 mètres

Signes Conventionnels

- Chemins de fer
- Routes Nationales
- Chemins de Gr. Comm.
- Chemins vicinaux
- Cours d'eau

IMPRIMERIE DUCHEMIN, SENS

